V. ユーザビリティ技術分野

Ⅴ．ユーザビリティ技術分野

1.ユーザビリティ技術分野の現状について

（1）ユーザビリティ技術の現状と課題

今後ますます進展していくユビキタスなコミュニケーション環境においては、情報の流通範囲や形態が拡大し、いつでも、自分や相手の状況に合わせた情報交換が可能になるなど、人々のコミュニケーションが一層深められていくものと期待される。即ち、音声、テキスト、映像などの異種コンテンツの相互変換や、複数情報の連携が可能になると共に、モバイルコンピューティングなどによってオフィスの内外で変わらない作業環境が創り出され、ワークスタイルの変革にも貢献するものと考えられる。このようなコミュニケーション環境の進展は、人々の生活を便利・快適・安心なものに変え、社会生活を大きく変える可能性を秘めている。

ユーザビリティ技術は、このようなコミュニケーション環境の進展をもたらす基盤技術、即ち、人々がいつでもどこでも簡単にサービスやコンテンツを享受できる環境を実現し、それを支える技術と言える。具体的には、思いのままに使いこなせる各種の情報機器とサービス、それらを支えるサービス環境の構築である。

ユーザビリティ技術を取り巻く最近の動向として、インターネットをはじめとするネットワーク環境の浸透や種々のネットワークの融合、音楽配信に見られるようなネットワークサービスの普及、各種携帯情報端末や車載機器、薄型テレビなど情報家電市場の拡大、ブログなど個人による情報発信とその波及効果の増大、センサネットワークを活用したユーザの行動や意図、感情などの分析・推定に基づいた機器制御やサービスの提供等々が挙げられる。また、立体映像の撮影や加工など立体視可能な映像の技術と、医療やエンターテイメント分野など、その応用が進展しつつある。人間の知覚の仕組みの解明などから、より臨場感があり、かつ、視覚など生体の負担が少ない表示方法の開発が求められる。薄型化、軽量化、大画面化、高画質化、高臨場感化したディスプレイの新たな使い方の提案や、新たな市場創出の模索もメーカーやサービス事業者各社により続けられている。さらに、「感性」や「感情」、「感動」、あるいは「楽しさ」や「喜び」なども、ユーザビリティ技術のキーワードになってきている。例えば、ユーザが感動するような経験をデザインするためのプロセスが研究されている。顧客と一体となった価値創造のプロセスが注目され、いくつかの実践例も報告されている。その他、脳科学の成果をインタフェース開発にどのように活用していくかにも期待が集まっている。ユーザビリティ技術は、このような動向を見据えて開発を進める必要がある。

一方で、情報化とネットワーク化の進展に伴って、新たな課題も生じつつある。セキュリティやプライバシー保護の問題は、より重要度を増してきている。例えば、煩わしい手続きは必要なく、ユーザの記憶力にも頼らない、それでいて、安心して安全に使える認証技術が求められている。デジタルデバイドの課題もある。デジタル技術の普及によって社会参加を制限されてしまう人がいることは望ましくない。新しい技術を使った機器の導入により、高齢者や障害者に使えな

くなったという例は数多い。誰もが使いやすい機器やシステムの実現は、正にユーザビリティの課題である。逆に、個々のユーザビリティ技術を、テレワーク支援技術や障害者のコミュニケーション支援技術としてインテグレートできれば、新たな社会参画や雇用創出、ビジネス創造へとつながる可能性もある。高齢者や障害者は、さまざまな支援を必要とする反面、特殊技能者としての側面もある。例えば、視覚障害者には鋭い聴覚や触覚の能力を示す者も少なくない。そうした能力を活用してビジネス展開した事例なども紹介されるようになってきている。また、様々なサービスの増大に伴う組込みソフトウェアの開発コストや生産稼働の増大の課題、ネットワーク化でより深刻となる情報システム等の障害波及や情報漏洩の課題もある。ユーザビリティ技術では、これらの課題に対処する技術開発も重要となる。さらに、少子・高齢社会におけるアクセシビリティ機能や安心・安全の提供、セキュリティの確保、生産性の向上などにも寄与することがユーザビリティ技術として求められる。

(2) 本ロードマップの構成と改訂内容

本ロードマップで扱うユーザビリティ技術分野の俯瞰図を図 5-1 に示す。上述の内容を踏まえて、ユーザビリティ技術のねらいを、ユビキタスなコミュニケーション環境を実現するための「人中心型コンピューティングの実現」と捉えている。そのためのユーザビリティの視点として、「ユーザの仕事と生活を支援」、「機器・情報を使いやすく」、「安心して安全に利用できる」の３つを掲げた。技術要素については、「ヒューマンインタフェース」、「セキュリティ」、「基盤ソフトウェア」、「デバイス・機器」の４つの大分類項目に整理した。コンテキストプラットフォームを中心とした基盤ソフトウェアが他の３項目と相互連関することによって、人中心型コンピューティングを実現するという概念を図示した。以下、大分類項目毎に、その捉え方を説明する。

ネットワーク時代にあって、人中心型コンピューティングの基盤を支えるのが、コンテキストプラットフォームを中心とした「基盤ソフトウェア」である。これは、人に負担をかけることなくバックヤードからユーザの支援を行う重要技術である。機器等の人手による設定はできるだけ少なくし、誰もが簡単に使える環境の実現を支援する。膨大な資源が遍在する環境下でのマニュアルレスでの設定や資源の効率的な利用に向けて技術開発が進められており、ユーザの状況に適応するコンテキストプラットフォームなどの実現が可能となる。

「セキュリティ」は、人が安心して安全にシステムを利用できるために必要な重要技術である。安心してシステムを利用できるためには使途に応じたプライバシーや暗号技術の高度化を進めることが重要であり、また、認証技術においてもマルチモーダル認証など複数手段による認証が重要になっていく。また、利便性を損なうことなく安全性を高めることが求められる。

「ヒューマンインタフェース」は、単に人が機器に対して行う機械的な操作のしやすさのみならず、ユーザが要求するサービスや情報を、ユーザが好む形態で提供するための重要技術である。このため、今後は音声や画像など各種の入出力情報を用い、状況・空間理解を実現するインタフェースや、単一メディアの扱いから複数メディアをアプリケーションに応じて適材適所に使い分

ける形態へと進展していく。デザイン対象が、単一プロダクトからシステムへ、さらにサービスへと拡大している。このような状況においてユーザの満足をもたらすためには、ユーザの経験をデザインするプロセスの技術も重要となる。

人中心型コンピューティングにおいて、モノとして人と直接向き合うのが「デバイス・機器類」である。使い勝手の良いデバイス・機器の実現に向けて開発を進めるべきであり、かつ消費電力の少ないデバイス・機器の実現が重要となってくる。そのようなコンピューティング環境を実現するためのデバイスとして、ディスプレイ、ホームサーバ、センサ／スマートタグを中分類として取り上げ、人にとって使いやすく、また、消費電力の少ないデバイス・機器のロードマップを検討した。

なお、本解説書では、ディスプレイについては詳細な検討内容を独立な章立てとし、「ヒューマンインタフェース」、「セキュリティ」、「基盤ソフトウェア」、「デバイス・機器」、「ディスプレイ」という構成にした。

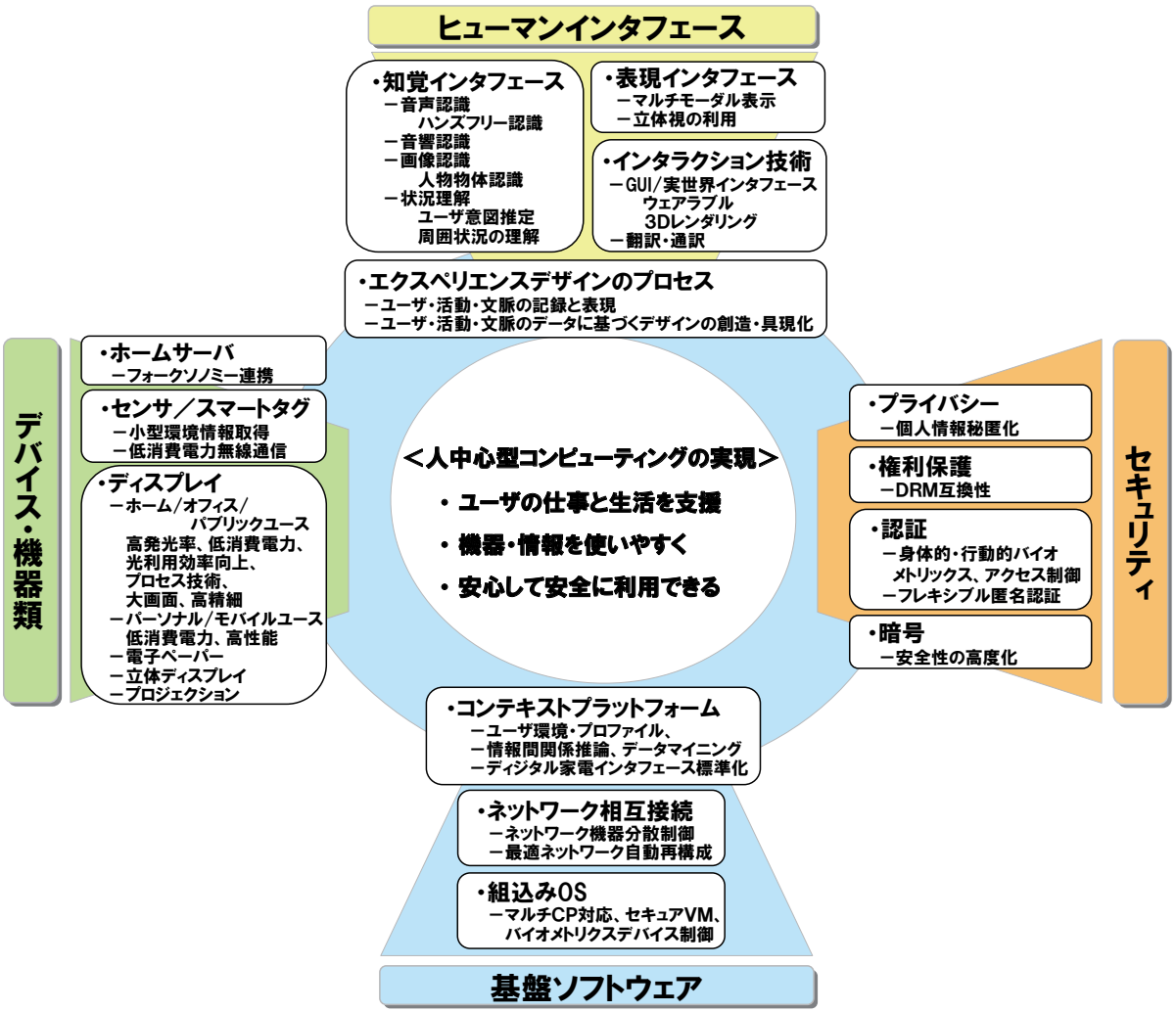


図 5-1　ユーザビリティ分野における技術要素

本ロードマップで取り上げる重要技術としては、産業競争力の維持・向上につながる技術として、ヒューマンインタフェース、ディスプレイが、安全性・信頼性の確保など社会的ニーズに応える技術としてセキュリティが、また、技術基盤の確立として基盤ソフトウェアにおけるコンテキストプラットフォーム等が挙げられる。

なお、今回のユーザビリティ技術分野ロードマップ改訂に際しての主な変更点は以下の通りである。

・各要素技術を統合し得るインタフェースの開発技術の必要性が増大していることを踏まえ、「ヒューマンインタフェース」の項目に「エクスペリエンスデザインのプロセス」の小項目を追加した。
・「表現インタフェース」に「立体視」の項目を追加し、必要となる要素技術（3D エンジン性能、3D 画像処理、3D カメラ・システム）を記載した。
・ディスプレイの普及に伴いその用途が多様化してきたため、分野構造を「据置型」、「モバイル型」という分類から「パーソナル／モバイルユース」、「ホーム／オフィス／パブリックユース」という分類に変更した。
・ロードマップの対象期間を、開始年は 2009 年、終了年は 2018 年の 10 年間に変更した。それに際し、各技術の現状、課題と見通し、キーテクノロジー等について見直した。

2.ヒューマンインタフェース

2-1.知覚インタフェース

2-1-1.技術の現状

外界の状況を入力することで、高度な情報処理を実現する技術を知覚インタフェースと呼び、ユーザビリティの高度化を実現する。多様なモーダルを利用して実現されているが、現状では特に音声、画像が主に利用されている。また、GPS に代表される測位システムを利用して得られる位置情報や空間の状況理解を通してのシステムも実用化されている。

（1）音声認識

音声認識による知覚インタフェースの産業については、90 年代後半から米国を中心に音声認識による電話応答自動化が実用段階に入っている。現在は、話者が協力的にていねいに発声した離散単語の認識が中心で、名前や住所、コマンドなどを対象としている。国内では電話音声認識に加えてカーナビなどの車載機器への音声認識インタフェースの搭載が 90 年代から始まっている。サンバイザーやダッシュボードに設置したマイクロフォンを使用するハンズフリー入力が鍵になる。当初は数十語コマンド（制御語）の離散単語認識から始まり、近年では地名・住所（数千～数万件）を識別する技術の搭載も始まっている。しかし限定語彙であること、耐雑音性能が必ずしも十分でないこともあり、広く一般に利用されるレベルには達していない。

一方、限定単語ではあるものの耐雑音性能を強化した音声認識技術が実用化段階に入り、工場やせり市場などでの騒音環境下での利用が始まった。

（2）音響認識

音響認識の対象となる音響信号は、通常、複数種類の音源信号が混在している。同時に複数の音源信号を認識するためには、各音源信号を分離し、識別することが課題となる。音響信号を人間のように理解できる音響認識技術としては、ステレオ信号から既知の音源信号を分離できるレベルの技術が開発されている状態である。音源分離は、独立成分分析(ICA: independent component analysis)という技術を利用したものが主流であり、分離されるべき音源が統計的に独立であるという仮定に基づいている。分離された信号に対応する複数の出力信号の独立性が高くなるように、特定の初期値を与えられた分離フィルタの係数を逐次更新することによって求める。一般的に分離フィルタとしては線形フィルタを用い、係数の収束したフィルタは、分離対象となる信号の一つに対してヌル（指向性の弱い方向）を構成する。また、入力信号のチャネル数（＝マイク数）が、分離しようとする信号の数と等しいか、多くなければいけないという制約がある。

しかしながら、分離されるべき音源が統計的に独立であるという仮定は、実際の環境で信号を分離する際には、成立しないことが少なくない。また、信号の数に対して十分な数のマイクを準備できないこともある。そのようなときには、信号をさらに微視的に観測することによって、独立性に関する仮定を成立させることができる。すなわち、極めて短い時間窓で極めて狭い周波数

帯域の成分を観測すれば、信号の独立性が高いとみなすことができる。時間－周波数空間において分離するべき信号の独立性を仮定するときには、時間－周波数空間において独立に最適化された複数のフィルタの集合が形成される。このような集合には、非線形演算が含まれており、信号の歪と分離性能の間で最適なバランスを見出さなければならない。

(3) 画像認識

画像認識技術とは、機械が人間の代わりに対象や環境を視覚的に検知・認識・理解・判断する技術であり、主に文字入力と映像入力を中心として発展してきた。人間は視覚に多く依存していることが知られており、知覚インタフェースにおいても画像認識技術の利活用は重要視されている。

文字認識については、活字 OCR は撮影条件が良ければ高い認識率が得られるため、携帯電話などにおいて、名刺に印刷された電話番号やメールアドレスをカメラ画像から自動認識する機能などが実用化されている。手書き文字入力は、比較的丁寧に書かれた文字の認識が可能となっており、端末 OCR ならびに郵便宛名区分機用 OCR が主要である。近年は、はがきや小型封書のみならず、大判封書（フラット）を区分するフラットソータが宅配荷物の宛名の読み取りも可能になっている。日本語のみならず、英文や欧米語住所認識ベースの英欧米圏向けの郵便宛名読み取り区分機が実現されている。

カメラによる映像情報での知覚インタフェースは、FA 分野における欠陥検査などを中心に実用化されてきたが、カメラ利用は近年自動車においても急速に普及してきている。バックモニタ、車線維持ユニット、ナイトビジョンとして実用化されている。単純な画像表示だけではなく、先行車検知・レーンキーピングシステム、駐車支援など、センシング技術を駆使したより高度な運転支援機能が実用化されている。高速な画像処理が要求されるこの領域に対して、映像処理プロセッサも実用化され、プリクラッシュセーフティ機能を実現するための画像処理として採用されるなど、安全・安心をめざした車社会の実現めざして、自動車、電装、電機の各メーカーで認識機能の高度化が進められている。

また、携帯電話やデジタルスチルカメラ、ビデオカメラへ画像認識機能を搭載する動きが活発となってきており、特に、顔画像認識の搭載が目立ってきている。例えば、事前に登録した人物にフォーカスを合わる、笑顔を判定しシャッターを切る、顔の部分を基準として色や明るさを補正する、などといった新しい機能が相次ぎ製品化されている。さらに新しい動きとして、カメラを搭載した家庭用ゲーム機器も登場し、顔画像認識などの画像認識技術を用いたゲームやアプリケーションが提供されるようになった。このように、比較的安価な端末機器にも顔画像認識のような高度な機能が搭載できるようになってきていることから、今後、従来は搭載や利用が断念されてきたような用途に対して、画像認識技術が応用される例が増加していくものとみられる。

(4) 状況理解

状況理解技術とは、ヒトやモノの位置や姿勢／行動、ヒトやモノを取り巻く環境の状態を計算機世界に取り込む技術である。状況理解技術は、観察対象の状態を観測するセンサと、センサからのデータを流通させるためのネットワーク、複数のセンサデータを統合・利用する統合処理から構成される。

センサは、利用可能な空間（屋外、屋内等）、理解する対象（モノ／ヒト、空間等）、取得データ（位置、ID、温度等）により大まかに分類でき、屋外にて受信機が取り付けられたモノの位置を取得する測位技術を中心に、屋内にてモノに取り付けられたタグを識別する RFID システムや、対象の姿勢や行動を取得するための加速度センサや方位センサなどがある。屋外における測位技術は衛星を利用したシステムが中心となっているが、屋内用は未だ標準的な方式はない。一方、ヒト／モノを識別するシステムとして RFID システムの実用化が急速に進んできている。トレーサビリティの確保、在庫／資産管理や、ヒト／モノの位置管理への適用も広がっているほか、普及率の高いものとして、2001 年に始まった FeliCa をベースとする JR の IC カード乗車券 Suica があり、その発行枚数は、2009 年 2 月末までに約 2,754 万枚に達している。さらに、首都圏の民間交通機関の IC カード乗車券 PASMO が約 1,129 万枚(2009 年 1 月末現在)、電子マネーの Edy が約 4600 万枚(2009 年 1 月末現在)など、IC カードが日常生活へ浸透してきている。

RFID システムのコアとなる IC チップ自体は小型化が進み、0.4mm 角で、128 ビットの情報記録が可能なチップが製品化されている。また、2005 年 4 月総務省令改正により日本国内で UHF 帯(952～954MHz)が使用可能となった。UHF 帯は従来よりも通信距離が長くとれるため、リーダーから数 m離れた複数の IC タグを一括で読み取りやすくなり、RFID の適用範囲が格段に広がると期待されている。さらに、複数センサの協調応用として、画像センサ（カメラ）に映っている人物が、所定の情報を納めた RF タグを所持しているかによって、不審者か否かを判定するような監視システムも実用化されている。

2-1-2.今後の見通しと課題

（1）音声認識

音声認識による知覚インタフェースの大きな今後の流れとしては、自然な話し言葉の認識と雑音に頑健な認識技術の開発である。

現在までに実用化されている音声認識は、人間が機械に向かって協力的にていねいに発声した音声（離散単語）を認識している。これは人間同士の自然な対話とは発話スタイルが大きく異なっている。言い淀んだり言い直したりすると誤認識するため音声認識を利用するユーザに多大な緊張やストレスを与えている。また認識できる語彙や文法に限定が強いため、ユーザは何が受理可能かを意識しながら余計なことを言わないように注意深く発話しなければならない。

今後は、これら発話スタイルの限定と話題・語彙・文法の限定を解消して、ユーザが意識せずに人間同士と同様の自然な話し言葉で音声入力できる技術を開発することが最重要課題である。発話スタイルの課題としては老人や子供音声への対処も重要である。また N グラム統計言語モデ

ルは対象アプリケーションに関する大規模なテキストコーパスから自動学習されるが、アプリケーションごとのコーパス作成コストが深刻な問題となる。低コストで自動的に対象アプリケーションの話題に適した言語モデルを構築する話題適応技術、複数の話題の混合や話題遷移を検出する技術、認識結果の非文法的な単語列から意味を抽出する技術、などの開発が必要である。具体的には、まずは Wikipedia に代表されるようなインターネット上のリソースからの語彙・言語モデル自動獲得技術や、高精度なガベージモデルを用いることで言語モデルにおいてカスタマイズが必要な部分を大幅に削減可能にするようなキーワードスポッティングによる対処が求められる。さらに、やや長期の研究を実行した上で、現状での音声認識の大きな壁である未知語問題を解く、すなわち、登録されていない単語が現れた時に、他の情報から推察して、未知語として認識する技術が実用化されると期待する。更に将来は、現在のような予め定められた語彙に依存した音声認識方式とは異なる音声認識方式の研究開発が望まれる。

話し言葉の認識技術は、機械と人間の自然な対話による情報アクセスに加えて、人間と人間のコミュニケーションを音声認識するという新しい応用分野を開くと期待される。すなわち放送、講演、会議やコールセンター対話などを音声認識することにより、大規模な録音アーカイブの検索・マイニングや字幕・議事録作成自動化、などが実現される。今後のデジタルコミュニケーションの爆発的な拡大に伴い、それらへのアクセス技術（テキスト化、検索・要約など）として期待される応用分野である。さらに他国の情報へのアクセスやビジネスのグローバル化から多言語対応が必要になる。現状でも、日英中程度の多言語認識技術開発は進められているものの、いつでも使える携帯型システムには程遠い。多言語化を進めるためには、構築コストの低減や言語モデルのコンパクト化と認識精度との両立を実現しなければならず、長期的な取組みが不可欠である。

また、現音声認識では環境や声質への適応が困難であり、予め決めた環境や利用方法で最適化した上で利用している。今後、2010 年ぐらいには環境や声質が変わっても適応できる技術が実用化されると考えられる。その後、新語彙や異なる利用方法への適応化が可能になる。この、異なる利用方法への適応化については、まずは種々の利用状況の収集・共有が可能な共通の枠組みが実現されることから研究開発がスタートするものと思われる。そのような枠組みの上に構築された各音声認識アプリケーションの利用状況に関する情報が収集・分析され、その結果に基づいて研究開発が進められるだろう。最終的には収集・分析された情報は体系化され、音声認識を様々な用途に適用する際に活用される。また、異なる音質への対応に関し、2015 年ぐらいには、つぶやき声程度でも認識できる技術が完成すると考えられる。

雑音に対する頑健性の向上も音声認識技術の大きな課題である。モバイル環境や家庭環境、大会議室ではヘッドセットマイクロホンを装着することは期待できない。このため、マイクロフォンは常に口元から遠く離れた位置に設置され、周囲の雑音や話し声、残響音、などを同時に集音してしまう。それらの雑音に埋もれた目的音声を認識するハンズフリー認識技術が必須である。現在開発されている技術は、特定の雑音環境において S/N 比を 15dB 程度になる位置にマイクロフ

ォンを設置した環境においての実用化が進められている。このような例としては、自動車内において、マイクロフォンをハンドルやサンバイザーに設置し、アイドリングから低速走行の環境を想定している。今後は、距離は30cmで高速走行までカバーするS/N比である5dB程度に対応できるように技術開発が進められる。また、S/N比は15dB程度としながら、口元からマイクロフォンの距離やマイクロフォンの本数の自由度を上げることで、ATM 端末等や家庭用リモコン機器等室内環境での室内環境における音声認識の実用化が進められる。

さらに、雑音の種類も自動車走行音のような予め想定できるような雑音だけでなく、家庭内雑音、音楽等、周囲の人の話し声などさまざまな雑音を扱わねばならない。このため、同居家族や自動車の同乗者のような複数の話者の同時発話の方向を推定し、強調や分離を行い、それぞれ音声を認識する技術も求められる。また、複数マイクロフォンの取り付け位置の変動やマイクロフォン個体差のバラツキ、話者の移動、スピーカによる拡声された音声の回り込みによる長時間残響などに頑健な方式の開発が重要と考えられる。これらを実現した上で、非定常雑音環境下で複数話者が会話している音声を認識することを可能にしていく。

(2) 音響認識

音響認識の今後の課題は、残響対策と主音―環境音分離である。現在の音響認識に用いられる信号分離技術は、残響環境下では、著しく性能が劣化することが指摘されている。これに対して、残響抑圧と信号分離を統一的に扱う最適化法も提案され始めている。残響環境下の信号分離の困難さは、分離すべき信号と相関のある残響成分の存在である。今後、実用化までには、さらなる研究の進展をまたなければならない。当面は、2〜3信号を対象とした比較的単純なモデルから研究が進み、徐々に信号数の多い、残響が深刻な、困難な状況における信号分離技術が開発されることになろう。

主音―環境音分離の困難さは、その識別にある。何が主音であり、何が環境音であるかを定めるためには、それぞれの信号の意味理解の領域に踏み込まなければならず、また、意味の理解は認識の主体（人間の場合には個人）に依存する。そのため、まず、もっとも簡単な主音と環境音が一つずつであり、かつ、主音の方向が既知であるなど、補助情報が利用できる環境で、数の少ない主要な信号に対する研究から進むと考えられる。次の段階として、より補助情報の少ない、より数の多い信号に対する、主音―環境音分離に対する成果が期待できる。並行して、情景理解及び情景判断に関する研究も進める必要がある。その成果は、主音-環境音分離における補助情報の一部として、直接利用することが可能である。

これらの技術課題を克服し、複数の分離音響信号から最適な音響信号を再合成する技術を確立することにより、音響認識の新たな応用として、音響での新たな表現インタフェースが実現可能になる。

(3) 画像認識

画像認識系の技術を大別すると、文字や記号などの自動入力と環境理解とに分類できる。これら技術開発は、まずは投資意欲が高いフィジカルセキュリティや ITS 分野などのミッションクリティカル領域において発展し、次の段階として、コストに敏感なコンシューマ領域へ段階的に技術展開される流れが基本となる。ミッションクリティカル領域では、長時間の監視あるいは多地点もしくは広範囲な領域の自動監視用途において画像認識の適用が今後も進むと見られる。監視対象としては人物が中心で、物体についても監視に対するコストパフォーマンスが高いもの（標識やサイン、マーカー、危険物や自動車など）が中心となり、段階的に監視対象が一般化していく。他方、コンシューマ領域への画像認識の応用としては、PC や家電のユーザインタフェースとしてジェスチャー認識や視線検出による直感性の高い操作の実現や、顔照合を用いて操作者を特定し自動的にカスタマイズするといった機能なども一般化していくと考えられる。また、複数のカメラを無線 LAN 等で接続するようなことが低コストで実現できるようになってきており、様々な場所を自動監視するような用途も実用化が進む。このような監視技術は、まず、照明条件が安定している屋内から実用化がすすみ、段階的に屋外へ展開される。

文字や記号の入力技術については、認識対象となる文字や記号の種類の拡大に加え、手書きへの対応による自然なユーザビリティの実現が進む。具体的には異言語文字の混在文書の認識、印刷文書中に書き込まれた手書きの文字の読み取り、様々な記号やサインへの対応などである。また、紙文書の読み取りについても、複雑な文書のレイアウトやフォーマットを自動的に判別し正確に電子化できるまでには至っておらず、高度な構造解析技術の実現が鍵となる。特に、複雑な条件下での文字分離、例えば、図形との混在、自然画像や手書き画像との混在した状態で、文字のみを高精度に分離し文字認識する技術は重要でこれら技術開発が継続される。また、文書 OCR については、従来は単一言語（日本語）だったものが、中国語やハングル語対応が進められ、多言語対応となり、かつ、翻訳機能とのリンクも進む。ユーザの手書き文字認識については、走り書きのようなものでも認識したり識別したりする機能が、低価格な端末や家電、ゲーム機などにも搭載されるようになり、手書きを中心とした入力インタフェースの浸透がさらにすすむ。

他方、文字認識は自然画像中の文字や記号を対象に普及がすすみ、カメラを搭載した機器、例えば、携帯電話やデジカメ、デジタルビデオカメラにも搭載され、入力支援やユーザインタフェースの最適化などに活用される。例えば、海外旅行において外国語のカンバンをカメラで撮影し、その画像中から文字を分離認識して、翻訳するような用途が想定される。また、自動車の車載カメラを使用し標識や看板などを読み取ることも実用化される。さらには、ウエアラブルカメラの普及とともに、体に装着したカメラで、ユーザが読む文字のすべてを読み取ることなども実用化されるとみられる（2016 年頃）。

環境理解では、認識対象種類の拡大とレスポンスタイムの高速化を中心に技術が発展する。また、対象や周辺環境を立体的に入力する技術もすすみ、精度向上に加え、低コスト化やセンサの小型化なども進展しながら、リアリティや臨場感を追求した利用シーンなども広がっていくと予

想される。さらに、カメラ系に加えて使用するセンサの種類や数量が拡大し、それらの組み合わせで、より情報量の多い環境を理解するセンサフュージョンが進む。特に、カメラを用いた環境理解では、近年の安心・安全な社会環境へのニーズを背景に、フィジカルセキュリティの分野とITS・自動車関連の認識市場が今後数年で急速に立ち上がる。フィジカルセキュリティにおいては、従来は単に現場をカメラで撮影し映像を記録するのみだったが、映像を画像処理により解析して、人物や物体を検出し、認識、追跡する用途が徐々に普及するとみられる。なお、人物は多種多様であり、車などの剛体に比べて認識が難しい対象であり、まずは室内などの照明条件などが安定した環境での実用化が加速する。2014 年以降には人物の簡単な心理状態推定に基づく行動予測や不審行動検出などが、2018 年以降には、画像認識によるセンシング可能な生理情報の種類が増え、その精度も向上し、画像による健康状態の把握なども可能となっていく。

ITS 領域においては、道路側の監視と車載カメラからの監視の双方から技術が発展していく。道路側については、現状は路側や道路の上方に設置されたカメラから撮影したビデオ映像から、車両や落下物を自動検出しているが、高画質化と共に広角化や立体化なども進み、より環境が正確かつ直感的に把握しやすくなっていく。さらに、解像度の向上と広角化により、広い領域を高精度に画像認識できるようになり、カメラ画像による監視がより正確になり、交通量制御や事故防止への応用などにも繋がっていくと期待できる。さらに路車間の通信、車々間の通信などが実現し、ITS インフラとの連携も可能となり、見通しの悪い地点にカメラを設置し、先行車が停止していることを認識し、後続車に停止を促すようなシステムが実現する。他方、車載側の認識システムの高度化も進み、2012 年には、一般道における白線検出、標識・信号に加え、ビルの看板なども認識できるようになるほか、2016 年には、画像認識と各種センサとの統合により、自動車外部全方位の認識が昼夜を問わず行われ、それを用いた行動予測、衝突回避支援などの機能が開発される。この時、反応速度は重要で、高フレームレートでの処理が前提となる。また、人間の行動を正確かつ安定して理解できるようになると、道路監視において路側を歩く人の危険度も判断できるようになり、歩行者検出がハイエンド車のオプションではなく、ABS やエアバックと同様に、カメラ映像による環境認識機能が標準的に搭載されるようになる。

センサフュージョンについては、複数のセンサをネットワーク等で接続して連携させ、広域を高精度に入力する技術の実用化が進む。特に、安価なセンサを複数利用することで精度やモニタ領域を広げる技術は、無線 LAN などの通信技術の進展などと並行して進化し、ユビキタス環境の実現において不可欠な技術になる。また、安全支援の用途では、可視光カメラによる監視では限界があり、それを補間するために複数のセンサの併用が進むとみられる。例えば、車載カメラでは、可視光カメラに加え、夜でも人を検知できる近赤外や赤外カメラ、雪や雨の中でも利用できるミリ波レーダーなどが組み合わされ、総合的な前方監視として実用化される。また、車内においてはドライバの脇見運転の検出が実用化されたが、今後は生体センサを含め、より詳細なドライバの生理情報をモニタし、覚醒状態や興奮状態などをチェックする機能も実現されるとみられる。また、センサについても、より環境に埋め込まれ、目立ちにくくなっていくと考えられ、環

境とセンサの見分けがつかなくなっていくであろう。

(4) 状況理解

ユーザビリティ技術分野における状況理解の大きな目標は、対話する相手の意図を理解し、効果的で効率が良く、かつ、違和感も少ないヒューマン-マシン･インタフェースを実現することになる。現状の状況理解の技術水準では、ミッションクリティカルな用途へ適用できるまでには至っておらず、精度が低くても問題が生じにくい、エンターテイメント的な用途への適用が中心である。例えば、表情や言葉の抑揚などの音声や画像の特徴の変化をパラメータ化し、それら情報を処理し感情を推定するもので、興味の有無や怒り等の大きな感情の変化は徐々に検出できはじめている。発言内容や履歴を分析して、大量の対話コーパスの蓄積を進めて分析する技術の開発も加速し、多様な言い回しや状況による表現の違いからユーザの状況や感情、意図をより正確に推定できるようになる。今後、検出できる変化の精度が向上し、2013 年頃には表層的な意図の推定が実用化段階に入るとみられる。さらに、2015 年ぐらいには体内センシングや脳内センシングなども実用化され、2016 年以降には、様々な生体情報を利用した深層的な心理状態や意図、関心、感情などの推測が実用レベルとなり、これら内的な情報を用いた、自然で効率の良いユーザインタフェースやサービスが段階的に実現していくと予想する。

さらに、状況理解の技術は、ユーザのみならず、ユーザの周辺環境の理解も進むとみられる。現状では、センサを特定し、限られたセンサ情報から状況を推定する技術が実用化されているが、今後は、センサフュージョン技術が進展し、多種多様なセンサを動的に選択活用し、それら複数のセンサ情報を統合的に判断することで、より正確かつ深いレベルでの状況やコンテキストが推定し理解できるようになる。

2-1-3.キーテクノロジー

(1) 音声認識技術

音声入力技術の発展に不可欠な、雑音に頑健な話し言葉音声認識は、各種適応化技術の高度化、WFST、未知語検出および単語推定技術を中心に発展すると考える。そのキーテクノロジーは、(1)雑音や発声変動、話題混合・遷移の確率的モデル化と隠れマルコフモデル、N グラム統計言語モデルとの融合、(2)大規模データから教師なし自動学習、とくに多言語認識への展開を容易にするための言語依存部分の自動学習、(3)複数認識手法の同時並列探索や融合法、(4)音環境の総合的理解、目的音声の分離抽出技術によるハンズフリー音声認識（マイク距離数メートル)、などがあげられる。現在、協力的な発話の音声認識において成功している大規模音声&テキストコーパスを用いた統計的モデル学習のフレームワークは、次世代の話し言葉認識においても中心的な技術になることは間違いない。そこで周囲雑音や複数話者の同時発話、発話スタイルの変動、話題混合・遷移、などの現象を確率統計的にモデル化し、隠れマルコフモデルや N グラム言語モデルの枠組みと統合する技術を開発することがキーになる。

また協力的発話を対象とする場合は、多人数が読み上げた音声を収録することにより比較的容易に大規模音声データベースを構築することができ、またテキストコーパスはインターネットなどから収集することができた。しかし話し言葉を意図的に収集することは困難で、むしろ通常の人間対人間のコミュニケーション（放送、講演・講義、議会、会議、コールセンター、など）を録音して音声データベースとすることが望ましい。その場合は録音されたデータベースに人手でラベル情報（発話内容を表すテキスト）を付与することは分量が多くなると非現実的になる。また多言語へ展開する場合にもこのラベリングコストが特に大きな障害となる。そこで完全なラベル情報を前提としない、教師なし、の統計的モデル自動学習アルゴリズムの開発もキーテクノロジーとなる。なお著作権をクリアした大量のコンテンツを研究開発用に利用可能とすることも重要となる。

加えて CPU 速度やメモリ容量の進歩、グリッドやユビキタスなどの遍在化、を利用して複数の可能性を同時並列的に探索し、それらの結果を融合する新しい音声認識アプローチの本格的な技術開発も期待される。さらにマイクロフォンに入力される信号から音源の数や種類、それぞれの持続時間などを抽出する音環境理解やそれに基づく音源分離技術も、耐雑音、ハンズフリー音声認識を支えるキーテクノロジーとなる。

また、今後新たなマイクの技術開発が進むと考えられ、骨伝導や肉伝導などをはじめとする、従来と異なる特性を持つマイクでの音声認識技術が開発される。これができれば、従来明瞭に発声することが必須である音声認識が、つぶやき声のような発声方法でも可能になる。

(2) 音響認識

音響認識を実現するキーテクノロジーには、音響信号を構成する音源信号を分離する技術と、その音源信号の種類を識別する技術がある。分離技術は、特定の音源種類に依存しないことが求められており、音源信号の独立性を利用したブラインド音源信号分離が有力であると考えられる。また、識別技術は多様な音源種類の識別を実現することが求められている。現在は、独立成分分析を利用したものが主流であるが、今後より非線形性を吸収できる新たな技術開発が進むと思われる。

(3) 画像認識

文字認識技術は、対象とする言語や文書の種類が拡大する方向で技術開発が進められている。日英中国語混在などの多言語が混在した印刷文字認識の実現には、単純な文字認識のみならず、フォントの分類や高度な日英中国語自然言語処理の高度化が必須で、言語や類似単語を、文脈を利用して正確に識別する必要があり、この技術は図面中に記載された単語の認識などにも活用できる。自由手書き文書の認識管理については、現在、入力時のストローク情報を活用するものがほとんどであり、画像として自由手書きを認識する技術は、現在でも非常に難易度が高い。オペレーションを指示するジェスチャー認識については、当面はストローク情報を活用するものとみ

られる。手書きのラフスケッチから、書こうとしている図面を推定し清書できる技術については、複数種類の文字や複数スタイルの文字が混在していても、それらを性質ごとに分離した上で認識する技術がキーとなり、認識対象とそれ以外を分離することが必要である。現状では、予め定めた特徴により、特定種類の分離ができるようになっているが、今後は時々で最適に分離を行う技術が開発される。これら技術の確立により、キーボードやマウスを必要としない、手書きやジェスチャーによるユーザインタフェースが普及していく。

画像認識を行う際の大きな障害要因は、照明条件の変化、カメラのぶれ、対象への距離変動、低解像度、対象の幾何歪みなどであり、実用化にあたってはこれら問題を解決しなければならない。影の除去や傾き補正は、現時点でも実際の利用シーンで用いられているが、屋外で様々な天候や照明条件下で高い認識精度を得るには、照明変動に強い技術の開発をさらに進める必要がある。2014 年頃には、屋外のほとんどの照明条件に対してリアルタイムに補正が行えるようになり、2017 年以降には、照明や障害物などの影響で一部が欠損したような画像でも補正を行い、正確に認識が行えるようになる。また、低解像度な画像を画像処理により高解像な画像を生成合成する超解像技術や、ぶれを補正する技術なども高度化し、認識率の飛躍的な向上が期待できる。

環境認識では、映像中の認識対象の拡大、高フレームレート化による高精度化、画像以外のセンサとの統合による環境認識がキーテクノロジーとして高度化される。認識対象としては、現在、カメラの直前の人物のジェスチャーの認識が可能であるが、今後、画像による顔や車両・標識の認識技術が実用化普及する。その後、その技術をベースに、遠方に映っている人物の動作を分析し、その動作を予測することが可能になると考えられる。その際に、飛び出し検知のように微妙な動作のきっかけを検知するためには、現状の TV フレームレートでなく、高フレームレートでの映像解析が必須になる。特に車載応用においては、高フレームレートによる画像処理が必須になり、大量の画像情報を高速に処理できる、高性能な「画像プロセッサ」が必要となる。

人物の認識は映像監視において重要な技術であり、「検出」、「同定」「識別」ともに開発が進む。また、複雑な画像シーンから人物を分析する技術や、人物の行動を解析する技術、歩き方から人物を識別する技術なども開発が進むほか、表情や心理状態の理解、ジェスチャーを正確に認識できる技術なども継続して開発がすすめられるとみられ、これら技術を組み合わせた自然なユーザインタフェースが段階的に実用化されていく。技術開発については、照明変動などが少ない、条件の良い屋内向けの技術から、より条件が悪く認識が困難な屋外向けの技術へと開発が段階的に進められる。2018 年以降に車両周囲物体(人物)の「行動予測」と「衝突回避支援」を実現させ、車社会における安全・安心社会を実現する。

また、画像センサ単一ではなく、「複数センサとの協調技術」の開発が信頼性向上の鍵となる。現状は車載応用として、カメラに加えて、ミリ波レーダー、レンジセンサとの組み合わせが実用化されている。今後、それ以外の人物センサや環境センサとの組み合わせ、道路側に設置されたリモートセンサや人体センサと、車載画像センサとの統合による高度化が進む。さらに、それらの技術をベースに装着型の生体センサや屋内のセンサとの統合により、新たな応用がひらける。

（4）状況理解

ユーザの状況理解については、「音声による認識技術の精度向上」と「画像（表情）を併用」した感情認識が今後進み、ロボットなど機械とのインタフェースが段階的に実現していく。現状では、発生のスピード変化や強度、トーンをベースに、平常、怒りなどの粗い分類が可能となっている。また、表情についても、笑い、悲しみ、さらには作り笑いなどの分類が可能になっている。今後、集中、眠気、喜び、飽きなど、別の観点での心の動きを検知することが可能になると考えられる。さらには、表情や発声といった、表層的な情報によるセンシングのみならず、生体センサや脳センシングの実用化とともに、複合的なセンサでのユーザ状況の理解技術は進展するとみられ、センサやプロセッサの小型化、処理能力の向上などにより、これら生理情報のセンシングをリアルタイムに常時、長期間モニタできる技術へと進展する。また、ユーザ意図の把握のためには、ユーザの行動を蓄積し分析する技術も必要で、発言や執筆文書の自然言語処理や内容理解技術の高度化も必須となる。

一方、周囲状況の理解は、特定センサモジュールからの状況推定から、広域センシングでの状況推定へと進展する。特定センサモジュールを利用した状況推定では、超音波、赤外線、ミリ波、加速度、方位などの多様なセンサを組み合わせた情報を分析して、特定地点での状況を分析する。その後、2015 年前後にはセンサネットワークを利用した広域での状況推定に進展する。膨大なセンサ情報を無線ネットワークで収集することだけでなく、多数のセンサモジュールを各地に配置し、広域での多数の自動車に搭載したセンサから収集した情報を分析して、状況を判断する技術がキーとなる。その際には、センサの低コスト化や省電力化、センシングした情報を低コストで伝送する技術なども必要となる。

2-2.表現インタフェース

2-2-1.技術の現状

（1）適応表示技術

モバイルをターゲットとした適応表示技術には、Webを対象に、Spyglass（現OpenTV） Prismのように記述言語などを変換し非PC端末向けコンテンツを生成する技術や、IBM Websphereのようにデータと端末毎に用意されたスタイルシートを用いて非PC端末向けコンテンツを生成する技術が実用化されている（図5-2）。また、携帯電話の性能向上に伴い、NetFrontやOpera、jigブラウザといったPCと同等のブラウザ（フルブラウザ）が携帯電話上で実現され、Webページを小画面向けに見やすく整形する技術が実用化されている。さらに、モバイル向けアプリケーションのリッチ化が進んでおり、組み込み端末をターゲットとした実行環境やその開発環境―AdobeのFlash LiteやMicrosoftのWPF/Eなど―が提供されてきている。

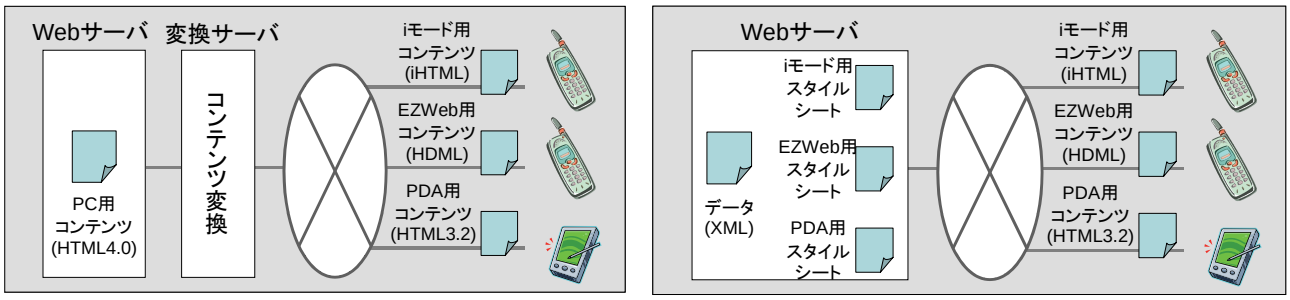


図 5-2　Web ページの端末適応技術の例

（2）立体視の利用

表現インタフェースとして最近注目を浴びているのが、立体視可能なインタフェースである。技術としては古くから存在したが、2005年、著名な映画監督スティーブン・スピルバーグ氏とジョージ・ルーカス氏が、「これからの映画は３Ｄだ。３Ｄにすることで映画はさらに発展する！」との強いメッセージ、いわゆる「３Ｄ宣言」以来、ハリウッド発の立体映画は空前の人気を博し、映画館の観客動員数、興行成績が倍増した。今まで、何度か失敗に終わっていた立体映像関連産業の立ち上げであるが、今度こそ成功するとの期待が高まっている。

立体映画の表示システムは、従来型のメガネ方式立体プロジェクターシステムであるが、デジタルシネマの立体標準が策定されたこと、映像の輝度が上がったこと、左右のクロストークが改善されたこと、映画撮影専用の立体カメラが新規開発されたことなど、光学系、デジタル画像処理の発展により、一昔前に比べると格段に質の高い立体映像が観賞可能となっている。

今後の期待は、家庭への展開と表現インタフェースとしての応用拡大である。家庭への展開では、新たなエンターテイメントとして立体映画の鑑賞や立体視ゲームが想定され、液晶やＰＤＰ

など薄型ＴＶの立体対応が進められている。立体視インタフェースの利用では、従来の医療関係でのニーズに加え、例えば米国では学校教育への展開が進められている。

(3) 擬人化エージェント

擬人化エージェントについては、コンピュータ上で情報ナビゲーションを行う秘書として提唱されて以来、ユーザとの自然なインタラクションを実現するインタフェース技術として研究が進められている(図5-3)。このプラットフォームの１つとして”Galatea”がオープンソースソフトウェアとして公開されている。これには、音声認識、音声合成、対話制御、顔動画像制御のパッケージが含まれており、簡単な操作で独自の擬人化エージェントを構成可能である。

現状では、バーチャルキャラクタUIとしてMicrosoft Agentをはじめ WWWと連携させる技術が生まれ、実用化されているが、産業としての市場形成はほとんど進まず、最近ではロボット方面で応用が進んでいる。現在の多くのロボットはシナリオ選択やリモートコントロールによりさまざまな行動、ユーザとのインタラクションを行うが、これら人間とのインタラクションに必要な技術としてマルチモーダル表示技術が挙げられる。マルチモーダル表示技術は、顔の表情、声の抑揚、身振り手振りなどを組み合わせることで自然なコミュニケーションを人間とエージェントとの間で行なうための表現技術で、コンピュータ上では表情の研究やあいづちをはじめとするノンバーバル情報によるコミュニケーションの活性化など基礎研究が進められている。そしてロボット分野で身振り手振りと音声を組み合わせた基礎研究が進められている。

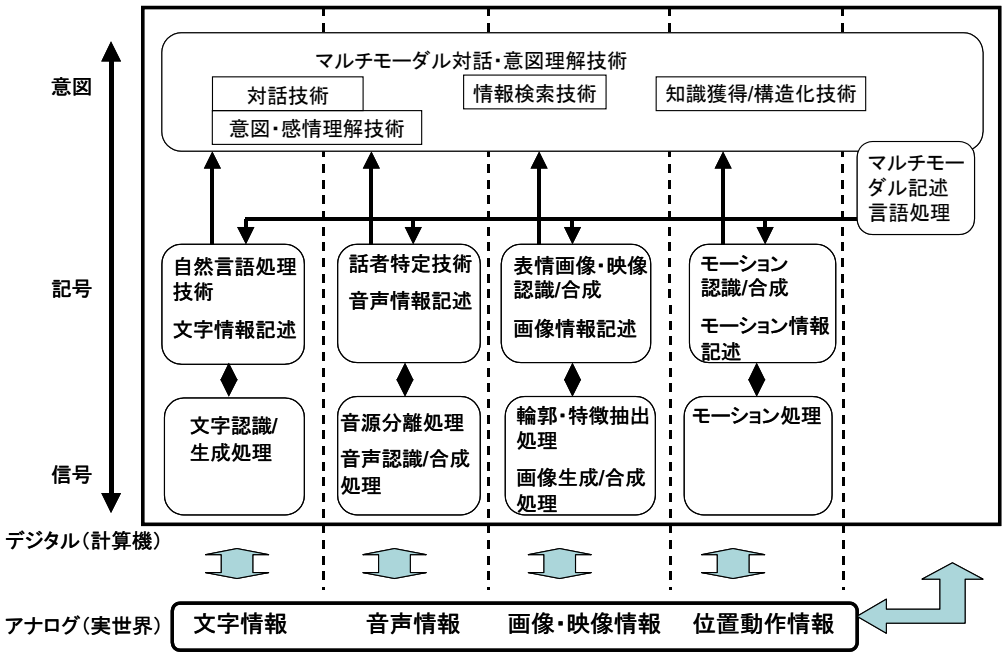


図 5-3　擬人化エージェントの機能構成

(4) 音響合成の利用

表現インタフェースで自然な対話インタフェースを実現する上で今後重要となる音声合成技術の利用動向としては、電話応答装置などにおけるシステムの応答音声出力やカーナビゲーションにおける案内音声出力に加え、携帯電話におけるメール等の読み上げ、アクセシビリティ向上のための Web の読み上げなどが挙げられる。特に、読み上げ対象となるテキストが固定ではないものに対しては、録音音声では対応できないので、利用するメリットが大きい。

また、音響を用いた表現インタフェースとして、複数音源を組み合わせた音場再生技術がある。現状では、既知の複数音源位置の音源信号を組み合わせて、音場を再現することが可能である。

2-2-2.今後の見通しと課題

(1) 適用表示技術

端末の多様化―PC、携帯電話、PDA、TV などの情報家電など―、ネットワークの多様化―ADSL、光ファイバー、公衆無線、ホットスポットなど―、コンテンツの多様化―Web ページや Web アプリケーション、マッシュアップなど―により、情報利用環境が複雑化し、エンドユーザのコンテンツ発見や利用がますます困難となってきている。適応表示は、このような状況に対しコンテンツ―メディアやユーザインタフェース―を適応的に表示することで、ユーザのコンテンツ発見や利用を支援する技術である。この技術の課題は、適応対象を拡げ、情報利用環境の複雑化に対応することである。今後は、ニーズが顕在化している、端末や NW といったリソース適応（～2006）から順に、ユーザ履歴・状況適応（～2009）、環境適応（～2011）、ユーザ意図適応（～2014）と、技術開発が進むと予想される。これを実現するように、適応表示を制御する元となる状況の獲得レベルの高度化、メディア適応の高度化、表現のリッチ化が進む。

状況の獲得レベルの高度化では、表層的な状況の獲得から、よりユーザの内面に適応するためのユーザ心的状態の獲得へと高度化が進む。また、メディア適応に関しては、表示インタフェースの物理的制限、例えば画面の表示サイズやディスプレイの種類に合わせて、コンテンツの表現メディアを変換する必要がある。さらに、ユーザがよそ見をしてはならない状況のように、ユーザの状況に合わせて表現メディアを変換する必要がある。より自由な表現力を目指してメディア適応技術は進展すると考える。当初は、音声とテキスト間というような限定的なモダリティでの変換であるが、2013 年頃には、映像とテキストという本質的に異なるモダリティの変換も可能になる。さらに、形式的な変換でなく、意味を保持した形での表現変換が可能になる。

限定的なまた、複数のモダリティを組み合わせたり、表現を高度化したりすることで、表現力をリッチにすることも進められる。テキストのように特定のモダリティで画一的に表現しているだけでは、情報がユーザにとって理解しにくくなる。それゆえ情報検索の結果のように単にテキストの一覧だけではなく、分かりやすく加工して表現する技術が実用化されると考える。当初は、テキスト、音楽、映像という様々なメディアを検索した結果を分かりやすく一覧表示できること

が実用化される。その後、表現力を向上させ、マルチモーダルでの表示によって分かりやすい表示を実現する。その後、ホログラムディスプレイの実用化とともに、3 次元での没入型の表現や、高い臨場感での情報提示が実用化される。

(2) 立体視の利用

立体視可能なインタフェースの普及に関わる大きなニュースが 2009 年 1 月の米国ＣＥＳで発表された。高性能ゲーム機やＰＣ用のＣＧエンジンの立体視対応である。入力系では、民生用立体デジタルカメラの発売計画も公表された。一方、立体コンテンツの相互利用に不可欠な標準化については、ＣＩＰＡ（カメラ映像機器工業会）で立体静止画規格が 2008 年に策定済みであるほか、ブルーレイディスク（ＢＤ）の立体規格化が、2010 年初頭には策定完了予定で進められている、また、マルチビューに対応可能な新たな圧縮規格についても、ＭＰＥＧでマルチビュー方式とデプス方式の規格化が 2011 年にかけて進められる予定で、立体視インタフェース普及への基盤は今後徐々に整っていく見込みである。

家庭展開の課題は、３つあると考えられる。

１つは立体表示ディスプレイである。メガネ方式や数視点程度のではテレビのように寝転がって自由な姿勢で見ることは不可能である。また、身体を思わず動かしてしまうような迫力あるゲーム楽しむにも充分でない。ディスプレイについて、さらなる技術的課題解決が必要である。

２つ目の課題は、立体視機能が発達中の６歳までの子供への対応や、ISO で進められている映像の生体安全性に関するガイドラインなどへの対応である。

３つ目は、２Ｄ映像に対する立体の優位性の明確化である。立体の効能や効用が不明であれば、普及には大きな困難が伴うであろう。

上記の課題を解決するためには、２Ｄを凌駕する高画質の立体ディスプレイ、充分な性能のＣＧエンジン、違和感が少ない実写とＣＧの融合技術、立体マルチビューに自由に対応できるライト・フィールドカメラ技術の発展が必要不可欠である。

(3) 擬人化エージェント

擬人化エージェントでは、現状ではバーチャルキャラクタ UI が中心であるが、現在研究が進められているロボット型 UI が実用化され、その表現力が強化されることで、感情表現できるロボット型 UI、より人間らしいしぐさや表現力を持つロボット型 UI が実用化される。

擬人化エージェントを高度化する上で、表情の生成や音声合成といった個別要素技術の研究はこれからも継続されるが、その後個々のモダリティの品質向上に伴い顔画像と音声のズレなどが気になるようになることから、複数のモダリティの合成技術とその評価技術がさらに重要になる。そして利用分野としては、カーナビ、携帯電話や情報家電をはじめとする PC 以外における利用、ロボット分野、そして社会エージェントに代表される複数のエージェントを用いたシミュレーション分野の研究などへの応用が進むと考えられる。

擬人化エージェントの表現力の向上としては、「口形状の生成を含む表情合成」や「表情と音声の同期を取るシステム」「ジェスチャーを含むリアルな CG キャラクタ合成技術」が重要である。次にくるロボット型のエージェント分野では、ロボットが人と自然なインタラクションを実現するため自然言語分野の技術や「身振り手振りを盛り込んだマルチモーダルコミュニケーション技術」「動作と音響信号の同期」の研究がまず盛んになり、その後 2014 年から 16 年頃にかけてエンターテイメントやコミュニケーションを主な役割とするヒューマノイドロボットへの応用が進むと考えられる。

インタフェースの統一化および制御技術の高度化によって、多様な端末を利用する上での擬人化エージェント技術も進化する。NW に接続されたあらゆる端末の操作を同じ擬人化エージェントを介して操作できるようになれば、当初考えられていた電子秘書の実現ができるが、このためにはユビキタス環境下での統一的な機器操作の仕様の構築など大きな課題が数多く存在する。まずは、「表現情報を統合的に記述する記述言語仕様」が近い将来の研究ターゲットとなる。現時点では記述言語は東大石塚研で開発している MPML、マルチモーダル記述言語として豊橋技術科学大新田研で開発している XISL などが有名であるが標準化は進んでおらず、また評価では自然さを基準として扱うためまだ基礎研究の段階である。これらの基盤技術をもとに端末に依存しない機器操作環境の一実現方法として擬人化エージェントが用いられるようになると予想される。

そしてコンピュータ上の仮想空間に３Ｄのエージェントを多数配置し、実世界ではできない災害避難シミュレーションをエージェントで代行して行なう社会エージェント分野の研究も危機管理シミュレーション手法のひとつとして盛んになる。このために「擬人化エージェントを仮想３次元空間上に多数配置し、リアルタイムで制御する技術」が重要になる。大規模な擬人化エージェントを用いた実験としてはデジタルシティ京都において京都駅を 1000 人の避難を想定したシミュレーションの研究があるがあくまで研究初期の段階といえる。

さらに、表現力の向上として、触覚をはじめとした五感を活用して表現力も高度化されると考える。現在は、特定用途での触覚表示が可能なレベルであるが、今後嗅覚をはじめとして、五感表示が可能になる。

(4) 音響合成

対話における基本技術である音声合成における第一の課題は、音質の一層の改善であるといえる。近年の音質の向上により、音声合成の適用もコンスタントに広がってきており、今後も、電話などによる自動応答サービスにおいては、幅広い人々へ、24 時間のサービスを行うという観点から、音声合成の適用が拡大していくと考えられる。しかし、これらコスト面でのメリットがあると考えられるアプリケーションにおいても、音質面の問題から採用されていない場面もまだ多く見られている。この解決のためには、より人間らしさを求められ、音質の人間らしさと共に、人間と同様の感情表現や個人性表現、話し言葉への対応などが問われることになるだろう。音声合成の表現力としての実現レベルは、現段階の単に音を生成して読み上げる機能から一歩進んで、

自然な対話調の音声を合成する技術、感情音声の合成技術が急務の課題である。また、人に疲労感を与えないためには、メッセージ中の重要なポイントを抽出して強調するなどの工夫が必要であり、このために必要となる文脈情報を利用した言語処理技術が必要である。国際的な競争力を持たせるためには、多言語の音声合成への対応が必要となり、言語間コミュニケーションとしての自動通訳技術においても、各言語での音声合成技術が必要となる。日本語以外の言語への対応においても、各言語に対する知識の獲得が重要なポイントであり、各言語への対応力を付けるための方策が必要である。

さらに、音響を用いた表現インタフェースの高度化も進むと考えられる。音響認識技術によって分離された複数の分離音響信号から最適な音響信号を再合成する技術を確立することにより、従来の受動的な音楽鑑賞とは異なり、ユーザの「思い通りに聴きたい」という欲求を満たせる能動的音楽鑑賞システムが可能となる。能動的音楽鑑賞の一例として、ＣＤなどのミックスされた音楽の中から特定楽器音だけを抜き出し、自由にコントロールする技術の開発が既に進められている。今後、このようなユーザの欲求を満たすという方向の応用はその要望が高まり、音楽鑑賞だけではなく TV 視聴にも広がり、高臨場感放送に発展していくことが予想される。

また、空間的な３次元音場の再現技術の開発と、高い臨場感映像との同期表示技術が、次世代の高臨場感ディスプレイ技術には必要不可欠な要素技術となる。

2-2-3.キーテクノロジー

（1）適応表示

適応表示には、相補的な 2 つの技術的アプローチ：コンテンツをメディアごとに個別化するアプローチと共通化するアプローチがある。前者では、何らかの制約条件を考慮あるいは積極的に導入し、コンテンツを選別、構造化、加工してユーザに提示する。後者では、制約条件によらない共通的なコンテンツをユーザに提示することで、それぞれユーザを支援する。両者ともに適応表示は、ユーザや環境から適当な制約条件を抽出する技術（状況獲得技術）と、コンテンツを解析して、制約条件に応じてメディアごとに作られたコンテンツを選択したり、共通のコンテンツのメディアを変換する技術が中心となる。

現状では特に、コンテンツの自然な変換が困難であるため、同一コンテンツに関して多様なメディアを準備しておいて、状況に合わせて選択することが中心である。例えば、PC 用のコンテンツメディアと携帯電話用のコンテンツを準備しておいて、携帯電話からアクセスする場合には、携帯用コンテンツを選択して表示する。

本格的なメディア変換では、コンテンツの変換空間的あるいは時間的に構造化する技術、構造化された情報の分かりやすい視覚化技術やインタラクション技術など、幅広い技術が必要となる。共通化するアプローチでは、画面サイズに対するスケーラビリティやマルチモーダルに対応したユーザインタフェース部品や、機能毎、アプリケーション毎にデザインされたユーザインタフェーステンプレート、生産性の高い統合開発環境や開発フレームワークといった技術が必要となる。

さらに、これら 2 つのアプローチともにおいて、コンテンツ発見の容易さを評価する手法も必要となろう。これらの技術が、徐々に進展することで適応表示のレベルが高度化される。

(2) 立体視の利用

立体視インタフェースが普及するために必要な技術は、立体映像の入力、圧縮、蓄積、伸長、画像処理、表示、それぞれに存在する。立体映画で使われているような２眼のメガネ方式は、ほぼ、完成の域に達しているが、今後のキーテクノロジーは、多眼式、多視点、自由視点、ＩＰ（Integral Photography）方式に関わるものである。半導体やデバイス技術の進展に伴いＧＰＵパワーも増大、将来的には８ｋ解像度の立体や表示デバイスが出現、魅力的なアプリケーションが期待される。立体の魅力を探る実証プラットフォームを世界に先駆けて開発し、家庭へ普及を進めるための技術課題洗い出しや魅力的アプリケーション開発を早期に進めることが国際競争力の観点から必要不可欠である。

(3) 擬人化エージェント

擬人化エージェント実現のための技術としては、当面マルチモーダルな表現情報を統合的に扱うシステムとその記述言語、そして評価技術が今重要な技術になる。2010 年頃にかけてはエージェントが端末非依存で人間のサポートを行なえるようにする機器間の操作インタフェースの統合や記述言語の開発と標準化が重要となると考えられる。その後、膨大な数の擬人化エージェントが協調的に制御する技術が重要になる。これにより、グループコミュニケーションなどが実現でき、擬人化エージェントが多方面で重要な役割を担うことができるようになると考えられる。

(4) 音響合成の利用

重要コンポーネント技術である音声合成はテキスト処理と音響処理の大きく２つの技術領域に跨る。テキスト処理部分は言語ごとに固有の内容が多くを占めており、音響処理のうちの韻律制御についても言語ごとに特徴を持っている。そのため、日本語固有の知識の蓄積を生かせる利点があるが、逆に多言語展開はあまり容易ではないと言える。技術的には、音響処理において、声の高低の制御が容易でかつ自然性の高い波形重畳方式に加えて、波形に信号処理を施さずに接続する波形接続方式により肉声感の高い音声合成方式が開発されてきており、統計的な手法として隠れマルコフモデルを音声合成に適用する研究も進められてきている。今後の音声合成のキーテクノロジーとしては、(1) 読み上げ調から対話調表現、感情音声の実現による表現力の向上、(2) 話し言葉への対応や、文脈情報利用などの言語解析技術の向上、(3) 多言語への対応、が挙げられる。これらの技術の効率的な性能向上のためには、多数話者による大量の音声データベースから、自動的に知識獲得や学習することが必要となると考えられる。表現力の向上については、対話調の音声についての学習方式、感情音声についての学習方式が必要となってくる。合成というメリットを生かして、特定個人を忠実に表現する技術から特定の人物ではない新しい個人性表現

へと展開していくものと考えられる。言語解析技術としては、今後数年では文脈を考慮した解析技術、重要語の抽出レベルにまで達していくものと考えられ、話し言葉の解析技術の開発が進むと考えられる。多言語化については、今後数年は徐々に主要言語への個別対応という形で進展し、2011 年頃には十ヶ国以上の通訳に対応するため、言語間共有知識の有効利用方式、知識獲得方式などの研究開発が必要となるだろう。

音響を用いた表現インタフェースとしては、現在の既知音源から、ブラインド音源分離された複数音源を組みあせた音場再現技術が今後進み、音源のカテゴリ認識技術が進むとともに、映像での物体の移動や物体の変更と整合した音場再現に技術が進むと考えられる。３次元音場提示では、単一の視聴者に限らず複数の視聴者に映像と空間的かつ時間的に同期した音場を提示することが重要課題となる。

2-3.インタラクション技術

2-3-1.技術の現状

（1）GUI、実世界インタフェース

Xerox Alto の登場（1973）以来、コンピュータのユーザインタフェースに GUI が取り入れられてから 30 年以上が経った。その間、Windows 3．1→95/98→XP→Vista や AppleLISA→Macintosh→Mac OS X、あるいはマイナー路線として Amiga、NextSTEP、OS/2、BeOS など多くの OS で GUI が採用されてきた。コマンド操作が主流と思われている UNIX/Linux 系でも、昨今では充実した GUI を備えている。個々の表現・操作技術で多大の技術進展やデザイン的な洗練が見られたが、WIMP(Window, Icon, Menu, Pointing)や WYSIWYG（What You See is What You Get）といった基本的なコンセプトはこの 30 余年の間にほとんど変化していない。これまで、GUI からのパラダイムシフトが起きうる好機の一つとして Internet の普及があったと考えられるが、結局は Web 向け UI も旧来の GUI コンセプトを忠実に継承したものとなった(図 5-4)。

これまで、GUI 技術の進展は主に表現力向上に見られたが、Mac OS X や Windows の最新版 Vista においても、その流れが踏襲されている。Mac OS X ではウィンドウの展開／格納時や、Expose と呼ばれる複数のウィンドウを画面上で一覧できるように並び替える機能などで、連続的なアニメーション表現が多用されている。

Windows Vista では、高性能なグラフィック機能を有する PC を対象に、Windows Aero と呼ばれる高度なグラフィック GUI が提供され、Aero Glass と呼ばれる半透明なウィンドウ表現や Flip３D と呼ばれる複数のウィンドウを３次元的に並べて表示する機能などが提供されている。

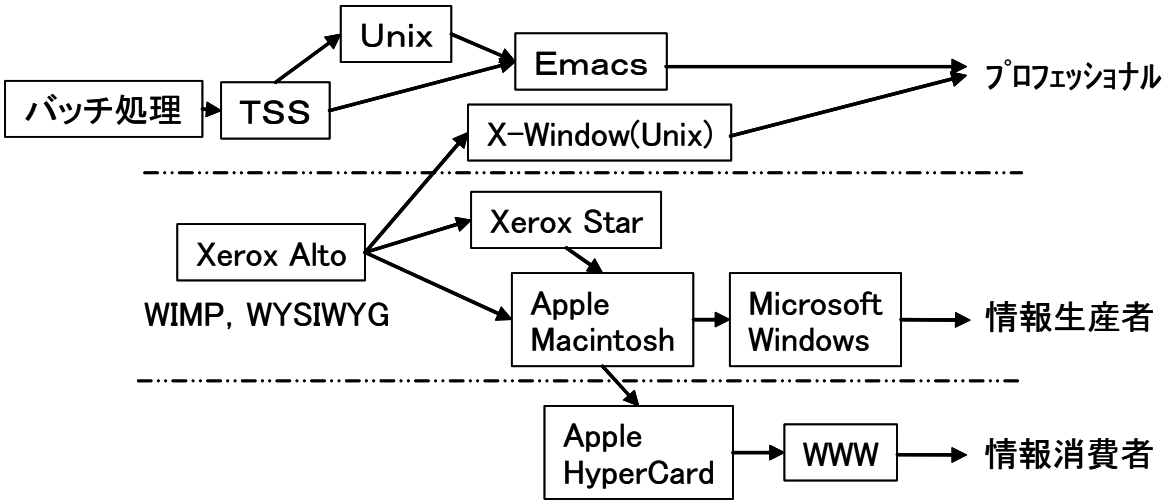


図 5-4　ＧＵＩ技術の変遷

GUI が高精細ディスプレイとマウスなどの座標入力装置など、PC 端末との対話だけを対象としているのに対し、実世界の物体と連動したインタラクション技術が実世界インタフェースである。

実世界インタフェースの技術開発は、1980 年代後半のバーチャルリアリティ技術に端を発している。当初はバイザー型の広視野ディスプレイと頭部の位置／角度装置が一体となったヘッドマウントディスプレイと、手指や身体の位置／角度を検出するデータグローブやデータスーツと呼ばれる入力装置を用いて、CG で合成された仮想的な物体を手で掴むなどのリアルな操作を可能にするものであった。このように、バーチャルリアリティ技術は、情報世界のデータとの直観的なインタラクションを目指したものであったが、実世界インタフェースではこれを拡張し、実世界の物体をセンシング／情報化し、これを情報処理やインタラクションに利用するものである。実世界の物体と情報世界の情報を重畳表示する技術も重要だが、従来は、その位置あわせのために、実世界の物体にマーカーを配置し入力精度を高める必要があり、そのマーカーが、合成の自然さを損ない違和感を高める要因となっている。

現在すでに、２次元バーコードや無線タグ（RF-ID）など、実物体のセンシング技術が発展／普及しつつある。これとジェスチャーなどのマルチモーダル入力技術、あるいはシースルーディスプレイなど実世界にオーバラップさせる表示技術が連携することで、コンピュータの利用シーンが飛躍的に拡大していくと考えられる。特に、ヘッドマウントディスプレイの技術進展が進んでおり、小型かつ高精細な端末の製品化が進んでいる。また、立体ディスプレイの研究も進んでおり、メガネ等が不要なディスプレイや動画ホログラムなども実現が相次いで発表されている。

(2) 翻訳・通訳

ブロードバンドが普及し、個人でも世界中の情報に触れる機会が増えるにしたがって、個人向け翻訳ソフトの売り上げが伸びている。また近年では、従来のパソコン上で動作するシステムだけでなく、携帯端末単体で動作するシステム、携帯端末から利用できるシステム、音声認識や音声合成を利用できるシステム、多言語への翻訳ができるシステム、ユーザ参加型のWeb上のシステムなど、ユーザの利用環境などに応じたシステムが開発され、システムの多様化が進んでいる。

企業内でもグローバル化が進むにつれて世界を相手に情報の収集発信を行なう必要性が増大しており、機密文書も安心して翻訳できる／グループ内で辞書が共有できることを売りとした企業向けのサーバシステムが発売されている。さらに翻訳作業を業務とする翻訳業界についても、特に近年ソフトウェアやWebサイトを各国向けに翻訳するローカリゼーション分野の市場を中心として急速に拡大しており、今後この分野の伸びとともに翻訳・通訳システムの利用機会も増える傾向にあると見られる。

翻訳・通訳分野の技術動向としては、大量の対訳コーパスから単語もしくはフレーズの対応情報を抽出して翻訳する手法である用例ベース翻訳(EBMT)や統計ベース翻訳(SMT)の研究が盛んになっている。商用システムのほとんどは人手で辞書・翻訳規則を作りこんだルールベース翻訳（RBMT）であるが、訳語選択等に用例ベース・統計ベースの手法を組み合わせることも一般化し

てきている。また一部では統計ベース翻訳システムの商用利用も始まっている。さらに翻訳対象と同じ分野の文書を参照して、その分野に適した翻訳を行なうといった各種適応化機能についても盛んに研究されている。

なお各種の言語対の間で商用の翻訳システムが開発されているが、日本語を対象とするシステムはほとんど国内メーカー産の製品をベースとしており、この分野における日本の技術力は国際的にみてもトップレベルにあると言える。

2-3-2.今後の見通しと課題

(1) GUI、実世界インタフェース

過去 30 年ほど、CPU 処理速度やメモリ容量などのコンピュータ処理能力は大雑把にムーアの法則（２年で倍増）にしたがって向上してきており、それにつれてユーザインタフェースもテキストベースから GUI、さらにはマルチメディア利用という方向で発展してきた。2010 年以降にはこの法則にも限界が来ると予想されているが、それまではほぼ同様の性能向上が続くと考えられる。これに伴い、ユーザインタフェースもさらなる表現力の向上が図られ、３Ｄ表現やアニメーション、動画/映像などを利用したリッチでデコラティブな表示技術が一層進むと考えられる。「2-3-1. 技術の現状」で述べたような Windows Vista や Mac OS の他に、Java の Project Looking Grass や Linux でも同様の方向が打ち出されており、2007～2009 年頃には PC 上の GUI の大きな流れになると考えられる。

ただし、インタラクション技術は基本的に端末形態に依存している。上記の流れはあくまで現行の PC の発展形、すなわち高精細／大画面の平面型ディスプレイと座標入力の容易なポインティングデバイスを備えた端末を想定したものである。革新的な表示／操作デバイス（例えばホログラムによる３次元表示や操作負荷の少ないマルチモーダル入力装置など）が実用化されれば、それらを活用した新たなインタラクション技術が考案され、発展していく可能性がある。しかしこの場合でも、GUI で構築された膨大な資産を無視することはできないため、何らかの形でその思想は継承されていくと考えられる。

また、インタラクションの品質を左右する要因として、インタラクションしている操作と、インタラクションの結果提示される表示や情報との連動感、一体感、合成の位置的な精度などが挙げられる。これらは、インタラクションのための操作や実世界の様子を正確に入力する技術と、その入力した情報に対して、正確にかつ同期をとり処理結果等の情報を表示する必要がある。その際には、実世界を理解するための映像物体認識技術などが重要な役割を果たす。技術的には、静止している物体よりも動いている物体の方が背景との分離は容易となるが、動きが早すぎても分離できなくなるため、対応できるレンジを広げる技術開発が必要となる。また、物体にマーカーやセンサタグなどを添付することなく位置や動きを検知できることが望ましいが、安価に高精度にセンシングする技術は未だ実用レベルにあるものは存在しない。

端末の多様化に合わせてユーザインタフェースも多様化すると考えられる。大きくは、ハイパ

フォーマンス機の利用を前提とした現行 GUI のリファイン形と、リモコンなどシンプルな入出力装置による家電 UI の発展形に２分されていくと予想される。ゲーム機の世界では、リモコン型のデバイスに加速度センサを埋め込んで、利用者のジェスチャーや動きを取り込む技術が、すでに実用化されている。

モバイル端末の性能向上は目覚しく、そのユーザインタフェースがどちらの形態をとるのかはにわかには予想が難しい。例えば日本における携帯電話のハイエンド機の傾向を見る限り、小画面/キー入力という制約にもかかわらず、マルチタスク化や Web ブラウザの搭載など、高機能 GUI を指向していると考えられる。

また、現行の ITS 製品やゲーム機、あるいはエージェントロボット研究に見られるように、タスクや状況は限定されるもののマルチモーダルインタフェースの実用化が進むと考えられる。

今後ユビキタスインフラの整備により各種センサや CPU が環境に埋め込まれるようになると、人間と実世界との相互関係がユーザインタフェース技術に取り込まれるようになっていく。特に、近年は無線タグ（RFID）の普及が加速しており、これを利用してモノに対する人間のアクションを直接コンピュータへの入力にする試みが盛んである。例えば、「美術館の展示作品に RFID が埋め込まれており、来場者が近づいたときにその作品に関する情報が来場者端末に表示される」とか、「棚に並んだ商品に関するアピールポイントや関連情報などが、その場で店員や顧客に提示される」などである。これらの技術は実世界指向やタンジブルインタフェース、あるいは実物体インタフェースと呼ばれ、２～３年後の実用化を目指した研究が進められている（図 5-5）。

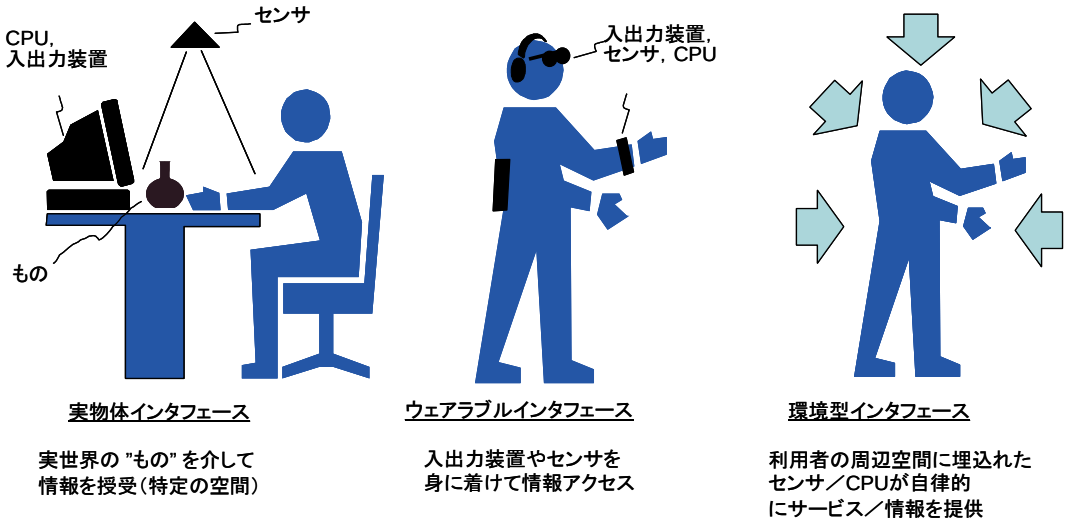


図 5-5　インタラクション技術の進展

また、ユビキタス社会が成熟すれば、人の置かれた位置や状況、意図などを考慮して、適切なサービスや情報が提供されるようになると考えられる。このとき、そのサービスや情報をユーザ

がそのときに利用できる端末に、適切な形で提供するのが環境型インタフェースである。現在、環境型インタフェースに関しては、ジョージア工科大の Aware Home、MIT の Oxgen、UCB の SmartDust などの研究プロジェクトが知られている。ただし、これらの技術の実用化には状況をセンシングするための高性能、安価、超小型センサとともに、それらセンサ情報の流通/処理インフラ（センサネットワーク）が必要であり、実用化のレベルに達するには 5～10 年の期間を要すると考えられる。

さらに、ユーザインタラクションもすべてのユーザに対して画一的に制御されるものから、ユーザや環境に適応して、より利便性が向上するように、自動的に変化する技術が確立されると考える。当初は、テキストでのインタラクションであるか音声を用いるかなどの、インタラクションのためのモーダルが選択できる程度であるが、2010 年頃には、初心者には丁寧なインタラクション、熟練者にはショートカットを用いたインタラクションというように言い回しを変換したり、表示の丁寧さを変換したりできる。さらに、複数のサービスを組み合わせてインタラクションをリッチにする仕組み（サービス記述、API 構築）が実現され、インタフェースが標準化される。2015 年頃には、端末やユーザ属性に合わせて、リアルタイムにサービスを合成できるまでになると考えられ、ユーザのスキル、要求、状態に合わせて最適なインタラクションを合成して提供できるようになり、より豊かで快適に情報機器を利用できるようになる。

(2) 翻訳・通訳

通訳・翻訳の最も重要な課題として、翻訳精度向上が挙げられる。個人向けの Web 翻訳や翻訳ソフトを使ったことのあるユーザは増えつつあるが、現状の翻訳精度では、翻訳結果だけを見て内容を理解したいというユーザのニーズには十分応えられていない。業務翻訳用途では、前編集、後編集のコスト削減につながる翻訳精度向上への要求が強い。

翻訳精度向上には、自然言語に内在する曖昧性の解消精度を向上させることが重要である。そのためには、曖昧性解消に用いる知識の充実が本質的である。商用システムの多くを占めるルールベース翻訳では、開発者が手作業で辞書をはじめとする知識ベースの構築を行ってきたが、知識量が増大するにつれ、整合性をもった記述が困難になり、構築コストが指数的に増大する。現状の商用システムの翻訳精度が伸び悩んでいるのは、この問題が大きい。実際的な応用の観点からは、翻訳対象分野を限定することにより、言語の曖昧性が減少し、曖昧性解消に必要な知識量も減少するため、翻訳精度の向上が容易になる。限定分野における（半）自動知識獲得と分野適応は、この観点から重要な課題である。

コーパスベースのアプローチは、コーパス自体を知識源とし、翻訳知識を自動獲得することで、翻訳精度向上の妨げになっている知識ベース構築コストを大きく削減できる可能性がある。ただし、良好な翻訳精度を得るためには、質の良い対訳コーパスを大量に必要とする。特に統計モデルベースのシステムが、翻訳精度に関して、現状のルールベースのシステムを超えることができるのか、また、そのためにはどれくらいの量の対訳コーパスが必要となるのかについては、現在、

研究課題として追求されているところである。統計モデルベースでは、翻訳精度向上のため、主流の統計モデルは単語ベースからフレーズベースへと移行しており、一部では句構造の導入も試行されるなど、モデルに文法的な知識を融合する方向のアプローチが盛んになっている。今後ともこの傾向は継続するものと思われる。

通訳等のコミュニケーション支援については、翻訳精度向上はもちろんとして、対話のコンテキストで利用されるために、翻訳において動的に変化する話題や文脈を適切に考慮することが課題となる。また、実際の対話では完全な文とはなっていない断片文や省略文が頻出するために、文脈の利用だけでなく話者の背景知識なども用いてこのような文を適切に翻訳することも課題となる。

また、中国語をはじめとする多言語への対応も、今後ますます重要となる課題である。

2-3-3.キーテクノロジー

(1) GUI、実世界インタフェース

GUI の 3D 化に関しては、まずは高性能画像処理が必要であり、これに向けたアルゴリズム、専用チップの開発が急務である。また、単に現行 UI を 3D 表示したりアニメ表示するだけでは、目新しさだけに終わってしまう可能性がある。作業目的に応じた真に効果的な 3D／動的表現技法も研究開発のターゲットとなる。モバイル端末向けのユーザインタフェースでは、まず小画面、限定された操作デバイスという制約の克服が求められ、これを解決するための表示、操作技術がブレークスルーの鍵になる。また、蓄積資産の利活用や開発コスト低減という視点からは、「2-2. 表現インタフェース」の項で説明したような、PC 向けに開発された UI やコンテンツを、モバイル端末向けに自動変換する技術も求められる。

環境型インタフェースに関しては、まず実世界のものとのやりとりを介した情報の授受を実現するため、マルチモーダルインタフェースや実物体インタフェースの実現が必要となる。このためには、物や身体の位置／状態を高精度にセンシングする技術や、無線タグなどそれらの情報を効率よく送信する技術が必須である。具体的には、インタラクションのための操作や実世界の様子を正確に入力する技術として、オブジェクトを検知したり追跡する技術が必要となり、コストや精度の面から、映像による物体認識技術が有望視される。また、入力した情報に対して、正確にかつ同期をとり処理結果等の情報を表示する技術が必要である。実世界を理解するための映像物体認識技術において、技術的には、静止している物体よりも動いている物体の方が背景との分離は容易となるが、動きが早すぎても分離できなくなるため、対応できるレンジを広げる技術開発が必要となる。また、物体にマーカーやセンサタグなどを添付せずに、位置や動きを検知できることが望ましく、それらを複数個配置するためには、低コストで実現する必要がある。

さらに特定の場所に依らずサービスを受けるためには、入出力装置や利用者の状態／状況を検知するセンサを常に身につけておく必要が生じるため、ウェアラブルインタフェースの技術も必須となる。また、上記でも触れたように環境型インタフェースではユビキタスインフラの普及／

高性能化が前提となるため、高性能、安価、超小型センサや、それらセンサ情報の流通/処理インフラ（センサネットワーク）を構築する必要もある。

また、環境型インタフェースでは、利用者にとってわかりやすいだけでなく、状況によっては「邪魔にならず」「さりげなく」情報やサービスを提供する技術が重要になる。このためには、利用者の意図、感情、置かれた状況などを的確に把握する技術の他に、人間特性に関しても、そういった切り口からの探求が必要になるだろう。人文科学や心理学､アートフォームなども含めた学際横断的な検討が期待される。

上記のような複雑なインタラクションを実現するための開発技術も高度化する必要がある。特に、適応的な動きをするシステムの場合、要求仕様を満足するようなインタラクションが実行できるかを評価する技術も不可欠である。多様な状況に適応するインタラクションを、設計者が予めすべて記述することは不可能であり、半自動設計手法の構築が不可欠である。また、2012 年頃に実現されるオンデマンドでのサービス合成を実現する設計手法としては、オンデマンドでサービスをカスタマイズできる設計手法の構築が必要である。また、そのためには、ここのインタラクションサービスのためのインタフェースや振る舞い記述言語の標準化が必要となる。さらに、2015 年頃に実用化したいリアルタイムサービス合成においては、個々のインタラクション自体が状況に応じて適応変化する必要があり、現状の記述言語を中心としたインタラクションとは異なる。

(2) 翻訳・通訳

翻訳精度向上のためのキーテクノロジーとして、曖昧性解消のための言語知識の構築・獲得技術と、分野適応技術が挙げられる。言語知識の構築・獲得技術に関しては、従来からのルールベースのアプローチと、近年確立されてきた統計モデルや学習理論に基づくデータ指向のアプローチを融合することにより、これら知識を利用する言語解析・言語理解の大幅な精度向上につながるブレークスルーが期待される。分野適応技術は、分野を限定した場合の言語知識構築・獲得技術と位置づけることができ、この観点からは少量データからの知識獲得がポイントとなる。

コミュニケーション支援用途においては、文を単に翻訳するだけでは不十分で、話題の移り変わりや文脈、個人の背景知識や文化的差異を考慮して、断片的な発話や省略された発話も適切に補完して翻訳するような話者間のコミュニケーションギャップを吸収することが本質であり、これを支援するエージェント的な技術、動的に変化する話題に適応する動的適応技術がキーテクノロジーとなろう。

2-4.エクスペリエンスデザインのプロセス

2-4-1.技術の現状

現代では人々の価値観が多様化しており、顧客満足度の高い製品やシステム、サービスを開発するために、顧客要求に適合した設計をする仕組みが必要になっている。そのため、開発の初期段階にユーザの要求を明確にし、それを設計に反映させて、さらに評価を行い、評価結果を再び設計に反映させ、この過程を繰り返す、といった人間中心設計のプロセスが重要になってきている。このプロセスにおける設計対象として、従来は、機器の表示の分かりやすさや操作のしやすさの向上、あるいはヒューマンエラーの低減などが中心的な課題であったが、最近では、これらに加えてユーザの経験をデザイン対象とするエクスペリエンスデザインが注目されている。

エクスペリエンスとは、製品やシステム、サービスにかかわるユーザの経験（使用に対する期待や使用した結果から得られる知覚と反応）をいう。比較的狭いユーザビリティの概念を拡張するキーワードとして近年注目されている。エクスペリエンスのデザインとは、製品やシステム、サービスにかかわるユーザの経験に着目し、経験における価値を高めるようにこれらを計画、作成、創造することをいう。

エクスペリエンスに基づいたデザインを行う場合には、まず想定されるユーザの経験を調査することから始める。したがって、ユーザ自身の特徴や内面の傾向、及び、ユーザが行う活動、ユーザが置かれている文脈を、記録・表現することが必要である。 そして、記録・表現されたデータをもとに、製品やシステム、サービスのデザインを創造・具現化する。

（1）ユーザ・活動・文脈の記録と表現

ユーザとユーザの活動に関する調査や評価は、実験室のような統制された環境下でこれまで行われてきた。このようなアプローチは、得られたデータの客観性を保証し、結果の再現性を保つためにとられる。製品やシステム、サービスの評価で用いられるユーザビリティテストでは、ユーザビリティラボと呼ばれる実験室に評価対象の製品等を設置し、被験者となるユーザを呼び寄せて評価を行った。またデータの記録範囲は、宅内のように限られた狭い範囲にとどまっている。

実験室で記録されたデータは、実験終了後にデータを分類や可視化を行ってデータの意味を解釈する。ユーザビリティに関する問題が明らかになれば、その解決法を検討して、従来機能の修正や新たな機能の追加によって解決する。このような記録から表現への手段は通常、実験中に同時進行で行われるのではなく、実験終了後にオフラインで行われている。

外部観測可能な事象については、ユーザの活動を観察することによって記録可能である。しかし、たとえば考えていることのような、心理状態については現在十分な記録が行われていない。ユーザビリティテストにおいては、心理状態の記録に発話思考法が用いられているが、その実施には被験者の訓練が必要である。そのため、ユーザの自然な活動を導くためには時間がかかり、しかも発話内容に主観性が入ることは否めない。そこで、より客観的なデータを効率的に取得するために、脳内活動を生理学的に記録する様々な取り組みが行われている。これらの技術の発達

によって心理状態を計測することが可能になるのではないかと期待されている。たとえば、脳波（EEG）や機能的磁気共鳴画像（fMRI)、近赤外光血流計（NIRS）による非侵襲的な計測手法が活発に研究されている。技術の現状として、脳血流の計測によって単純な二択問題のうちどちらを考えているかを 80%の精度で検出可能であることがトロント大学のグループによって報告されている。またホンダ、ATR、島津製作所のグループは、脳波と脳血流のデータを組み合わせて四択問題の解答を約 90%の精度で検出できることを発表している。

現状の技術で主に評価の対象としているのは、明確な目標をもったユーザの活動である。これは ISO 9241-11（JIS Z 8521）のユーザビリティの定義に基づいてユーザビリティテストが行われるからである。したがって、評価対象が比較的短時間で終わる明確な目標へ向かう活動に偏る傾向がある。

（2）ユーザ・活動・文脈のデータに基づくデザインの創造・具現化

製品やシステム、サービスをユーザが使う過程で得られる経験価値を高める手法を検討する場合、ユーザとその活動、文脈に対するデザインの適合性の程度が１つの指標として挙げられる。適合性の対象には、認識度、学習容易性、使用感等が含まれるが、現状の技術ではこれが許容範囲にある程度である。したがって、現状の製品やシステム、サービスが、多様なユーザとその種類豊富な活動、様々な文脈に十分に適合して、十分な高い経験価値を提供しているとはいえない。

2-4-2.今後の見通しと課題

（1）ユーザ・活動・文脈の記録と表現

ユーザ・活動・文脈の記録について、その記録範囲は広範囲かつ高精細に記録できるように発展することが予想される。現状の宅内（～10m）での記録から、2011 年頃には狭域（～1km）での記録が実現され、野外でのユーザの活動や都市内での活動が記録できるようになると考えられる。例えば、通勤・通学時のユーザの活動が記録できるようになると考えられる。活動の記録領域の拡大はさらに進み、2015 年頃には広域（～100km）での記録が実現され、都市の範囲を超えるユーザの活動が記録できる。例えば旅行におけるユーザの活動が記録可能になる。

記録から表現への手段は、データの記録後に処理をして分析・表現するという現在のオフライン型から、一部のデータ処理と分析を記録作業と並行して行うオフライン・オンライン混合型が 2011 年頃には実現されると考えられる。2015 年頃にはオンライン型でデータを記録しながら同時に処理をして分析・表現することが可能になると思われる。

活動中のユーザの心理状態を、文脈を保った形で記録するためには、実験室外の一般の生活の場で使えるような小型で軽量、身体負荷の小さい記録装置の開発が不可欠である。このような観点で、非侵襲的な手段による単純な二択問題の答えの検出（～95%精度）が 2010 年頃には実現できるようになり、2011 年頃には三択以上の問題の答えを実験室外で検出できるようになる（～80%精度）と予想される。計測装置の発展と同時に実生活での利用と検出精度の向上が進み、2016 年

頃には同様の問題の答えを 95%の精度で検出可能になると考えられる。また同時期には、ユーザが考えていること自体の抽出技術の出現が期待される。この技術が非侵襲的な手段でしかも一般の生活の場で使えるようになるには、その後５年以上が必要となるであろう。

ユーザ及びその活動、文脈の記録と表現において現在対象とされている活動は、単純で明確な目標をもったユーザの活動（たとえば事務仕事での定型作業）である。2011 年前後には、複雑で複合した目標をもった活動（事務仕事での例外作業や仕事以外の日常生活の一部）の支援が行われると考えられる。さらに 2015 年頃には、不明確な目標をもった活動（仕事以外の日常生活）の支援が本格的に行われると予想される。

（2）ユーザ・活動・文脈のデータに基づくデザインの創造・具現化

製品やシステム、サービスをユーザが使う過程で得られる経験価値を高めるには、ユーザとその活動、文脈に対してデザインが柔軟に適合することが望まれる。これは、ユーザ・活動・文脈のデータを、ユーザに負荷を与えることなく的確に取得し、それをもとに適切なデザインを提供するか、あるいはデザインそのものが柔軟に変化して適合する仕組みを提供することで実現できる。現在の技術水準では、認識度や学習容易性、使用感等を含む適合性は、許容範囲にある程度である。これを高い経験価値を提供するように適格な水準へ、さらには適合する水準へと高めなければならない。適格な水準が提供されるのは 2011 年頃、適合する水準が提供されるのは 2015 年頃だと予想される。

2-4-3.キーテクノロジー

（1）ユーザ・活動・文脈の記録と表現

ユーザ及びユーザの活動、文脈を、時空間的に広範囲な領域で記録するためには、ユーザビリティテストの技術をユーザビリティラボから解放して、種々のセンサ、ネットワーク、情報処理技術と連携させることが不可欠である。ユーザの活動を文脈の情報を保つように記録するためには、ユーザの活動の現場（たとえば実際のオフィス環境）において、製品やシステム、サービスを評価することが必要である。また、ネットワーク技術を活用してユーザビリティテストを行うことで、リモートユーザビリティテストが可能となり、情報処理技術の発展によってオンラインでの分析ができるようになる。発達したセンサ技術と連携するネットワーク技術を効果的に連携させれば、任意の場所を評価環境として活用できる。すなわち、ユビキタスユーザビリティテストが実現可能となる。さらに、コンピュータネットワーク上でのサービスが多様化し、加えてウェアラブル･環境型インタフェースが発達すると、これらの評価を行う手段や手法が必要となる。コンピュータネットワーク上に構築された仮想空間や、仮想と現実の混合空間における評価手法が要求されるであろう。

ユーザ及びユーザの活動、文脈を調査する技術として、参与観察やインタビュー、データのコーディングによる分析に代表されるエスノグラフィーで用いられてきた手法が用いられている。

地理的に分散した多数のユーザの活動を、長期間にわたって精細に記録するには人手では困難であり、必然的にセンサネットワークによる自動記録が必須となる。また、記録した大量のデータの分析に情報処理技術が積極的に用いられ、自然言語処理とデータマイニングの技術を使った半自動コーディングが求められるであろう。将来的には、ユーザの行動における意図の自動抽出と記録が行われるようになり、リアルタイムでの自動分析が可能になると考えられる。

ユーザの感情や経験を直接計測して記録することができれば、そのデータを利用して状況に適合した適切な機能やサービスを提供することができ、その製品やシステム、サービスを活用するユーザに高い経験価値を与えることが可能になる。このような観点で、各種の生体信号の計測と、そのデータから心理状態を明らかにする分析技術が必須となる。したがって、EEG や fMRI、NIRS 等に加えて、視線追跡装置や筋電計の小型軽量化と多面的なデータの分析が行われるであろう。

製品やシステム、サービスの企画段階では、想定するユーザを分析して以降の設計開発工程で共有できるように表現する。設計者や開発者の間での共有しやすさの観点から、ユーザの表現にペルソナ表現（ユーザに関する具体的かつ詳細な記述）が用いられることもある。開発におけるペルソナの有効性が近年注目されているが、一方でその作成と適切な再利用には課題も多く、開発プロジェクト毎にペルソナを用意するのは費用対効果の観点からも困難性がともなう。そこで、開発組織・領域において共通のペルソナを作成・テータベース化することが望まれる。また、ユーザ調査において、ユーザ特性を自動的に記録抽出してペルソナを作成する技術が必要とされる。ペルソナデータベースのエントリの増大と表現のリッチ化が進み、ユーザ特性として性別や世代、人種、経験等に分類された多様なペルソナが共有されることが期待される。また効率的なペルソナ作成のために、ペルソナの自動作成技術が開発されるであろう。

ユーザの行動を文脈の情報を保つように表現するために、シナリオが用いられている。シナリオもペルソナの場合と同様に、現在行われているプロジェクトの企画段階では、プロジェクトごとに分析・表現されている。そのため、開発組織・領域において共通のシナリオを作成・テータベース化することが望まれる。また、ユーザ調査において、ユーザシナリオを自動的に記録作成する技術が必要とされる。シナリオデータベースのエントリの増大と表現のリッチ化が進み、多様な文脈に対応した様々なシナリオが共有されることが期待される。また効率的なシナリオ作成のために、シナリオの自動作成技術が開発されるであろう。

(2) ユーザ・活動・文脈のデータに基づくデザインの創造・具現化

ユーザ及びその活動と文脈のデータに基づいて、高い経験価値を提供するような製品やシステム、サービスを創造し具現化するためには、インタフェース開発技術の発展と併せて、インタフェース技術自体の発展が不可欠である。前者の観点では、製品やシステム、サービスのインタフェースを速やかに開発・提供する技術が望まれる。これにより、短い期間での繰り返しのデザインが実現可能となる。具体的には、ユーザの多種多様なインタラクションを短時間に作成して評価する技術が必要とされる。比較的完成度が低くしかもハードウェアとソフトウェアを独立して

プロトタイプ化している現状から、ハードウェアとソフトウェアが連携するような比較的完成度の高いプロトタイプが作られるようになるであろう。プロトタイプの完成度が高まれば、プロトタイプと完成品との区別がつきにくくなり、製品同等のプロトタイプが製品として市場に出てくると考えられる。

多様な状況に適応するインタラクションを、企画設計段階で予めすべて記述することは不可能であり、半自動設計手法の構築が不可欠である。また、オンデマンドでサービスをカスタマイズできるような設計手法や、個々のインタラクション自体が状況に応じて適応変化するような設計が行われるであろう。これらの設計を実現するためには、状況に応じた変化を表現できるインタラクションの記述言語が必要である。

ユーザのインタラクションに多様性を与える１つの要因は、ユーザが間違うという基本的な特性にある。誤りの生じにくい製品やシステム、サービスの構築を目指すと同時に、誤りに備えた適合性の高い設計を行うことが重要である。現状ではユーザエラーからの回復機能をもったデザインが行われているが、今後はユーザエラーからの自動回復機能や、ユーザエラーの生じそうな時点でエラーの予測と通知を行う機能や自動的にエラーを回避する機能の実現が期待される。

製品やシステム、サービスを通してユーザに最適な経験を与え、高い経験価値を提供するためには、インタフェースのリッチ化が求められ、さらにユーザの嗜好の変化に合わせた動的変更を実現することが望まれる。これは単にインタフェースの変更だけでなく、提供されるサービス自体がユーザ行動と状況に合わせて変更されることが望ましい。さらに、感情・経験の記録表現の技術の発展と連動して、感情・経験に基づくリアルタイムのサービス提供や変更が期待される。

多様なユーザの要求するデザインをきめ細かく対応するための 1 つのシナリオとして、ユーザ自身によるデザイン、すなわち End User Computing という方向性がある。すなわち実際のユーザ自身が自ら必要とするシステムの構築や運用管理に関与するというアプローチである。初期段階としては、多くのソフトウェアで実現されているようなパラメータ設定によるカスタマイズという方法が考えられる。実際のユーザを関与させるにはユーザにとって理解しやすい記述言語が必要であり、今後はこのアプローチが、ソフトウェアモジュールの組み合わせによる実現、ハードウェアモジュールの組み合わせによる実現、またはこの混合という方向性に進むと考えられる。

3.セキュリティ

3-1.プライバシー

3-1-1.技術の現状

現代社会では何らかのサービスを受ける際に名前や住所などの個人情報を開示しなければならないことが多い。開示することになる個人情報は個人に付帯する属性情報である。属性には性別や国籍など個人の時間的な推移に対して変化が少ないものと、行動履歴や病歴など変化の大きいものがある。ここでは前者を静的な属性、後者を動的な属性と呼んで区別する。また、単独で本人をほぼ特定できる氏名、パスポート番号などの ID 情報は静的な属性に分類できるが、その漏洩はプライバシー保護にとって極めて重大となるため、ここでは敢えて静的な属性には含めず特別に取り扱う。これらの属性は通常複数集まってコンテキストとして個人を特定し得る情報となる。

このコンテキストを保護するための現状の「コンテキスト保護」技術は、個別のコンテキストを暗号化する、あるいは適切なアクセス制限を加えることで実現している（「個人情報秘匿化」）。利用者が単一のサービスを受けている範囲では、サービス提供者が個人情報保護ポリシーに基づいた暗号化やアクセス制限によって適切に管理を実施している限りにおいて、利用者にとって把握可能な範囲での開示に留まっている（「単一サービスからのプライバシー保護」）。しかし、今後はクレジット会社と航空会社とのポイント合算サービスに代表されるような複数のサービス提供者による複合的なサービスが普及すると予想され、それぞれのサービス提供会社が持つ属性が互いに関連付けられることにより、利用者の想像を超える数の属性のコンテキスト情報が無意識にサービス提供者に渡されることになる（「複合サービスからのプライバシー保護」）。

一方、現在では ID 情報を含む、静的な属性を必要とされる範囲で開示することによりサービスを享受している（「静的な属性間のコンテキストからのプライバシー保護」）が、ユビキタス社会の進展により利用者が携帯端末等で利用者の位置や行動を開示することによってサービスを受けるようになると、利用者は動的な属性を開示する必要に迫られる。動的な属性には行動履歴に対する位置情報のように一連の小さな属性により構成される属性情報が含まれる。これらの情報を得ることにより、調査・解析などにより個人を特定しやすくなるため、動的な属性の開示には個人を特定させないための秘匿技術が要求されてくる（「動的な属性のコンテキストからのプライバシー保護」）。更に、サービスの複合化が進み、静的な属性と動的な属性の両方を含む複合属性が開示されるようになると、より高度なコンテキスト保護技術が必要となる（「複合属性のコンテキストからのプライバシー保護」）。

また、利用者がサービスを享受する際、必要最低限な属性のみの開示で享受可能とする技術の一つとして、「匿名認証技術」が提案されている。匿名認証技術は利用者が自分の ID 情報を示さずに属性だけを提示することができる技術である。これによって例えば名前を開示せずに会員であるという属性だけを開示することでサービスを受けることが可能となる。当初、匿名認証技術には計算量が大きいという問題があったが、これが解決するにつれ、実用化の目処が立ってきた。

一方、通信路を流れる個人情報に目を向けて見ると、ID 情報が属性とともに流れることが多く、

これらに対しては従来から暗号を利用した秘匿技術で動的な属性を守り、一時的な ID を利用することで ID 情報を保護するという対策が取られてきた。このような「送信者秘匿技術」は今後も利用されていくと思われるが、これらの対策だけでは送信側の IP アドレスのなど送信の際に暗号化できない情報が漏れてしまう。IP アドレスだけでは送信者が特定できない可能性もあるが、たとえ特定できなくても、サイト間の送信量の情報は漏れており、その変化によって重要な情報の開示に繋がることもある。このような問題を解決するため、オニオンルーティングなどの「匿名通信技術」が提案され、現在では実験システムやプロトタイプシステムとして稼動している。

昨今、ファイル交換ソフトやウィルスなどにより、個人のプライバシーに関する情報や組織の機密情報がネットワーク上に流出する事例が多発し、社会的な問題となった。ファイル交換ソフトの使用制限やその用途に用いるＰＣに機密情報を置かないなどの対策がとられているが、未だに不注意による流出が発生し、一端流出したデータは容易にネットワーク上で広がってしまい、これを阻止する有効な手段がないのが現状である。

3-1-2.今後の見通しと課題

「コンテキスト保護」技術は、まずはアクセス制限技術や暗号化技術などの「個人情報秘匿化」技術が研究・実用化されていくが、それも 2010 年頃には確立すると考えられる。その後は、複合サービスの普及に伴い、複数の不完全なコンテキストの断片から十分な情報量と精度を持つコンテキストを推定する高度な推論技術が不正に利用されプライバシーが侵害される可能性が意識され、このような推論攻撃に対抗するための「推論攻撃対策」技術の研究開発が、動的な属性の開示範囲を制御する秘匿（「推論攻撃対策（動的属性の秘匿）」）技術から始まって、複合属性の開示制御（「推論攻撃対策（複合属性の開示制御）」）技術へと発展してくるだろう。動的属性の秘匿（「推論攻撃対策（動的属性の秘匿）」）とは、動的な属性から個人が特定できる部分を秘匿する技術と定義することができる。現在では個別の要素技術は出現しているものの、統合的なソリューションとしての技術は動的な属性を利用したサービスが本格的に開始される 2010 年頃から出現し始めるものと見られる。更に、動的な属性と静的な属性が開示されるようになると、それら複合属性を利用した推論攻撃が問題となる。これを解決するための複合属性の開示制御（「推論攻撃対策（複合属性の開示制御）」）技術は推論攻撃によって個人が特定されないように属性情報の開示を制御する技術と定義することができ、関係データベースにおける開示制御技術の知見などを利用して今後進展するものと考えられる。

また、利用者の ID 属性を開示せずに属性のみを証明できる「匿名認証技術」では、利用者が属性を失った際にどのようにそれを失効させるかという部分に関して若干の問題を抱えているが、他の障害となる問題は解決されつつあり、近い将来にこれを応用したサービスの実用化が期待される。また、現在の「匿名認証技術」では証明できる内容が予め固定されているが、今後は証明できる内容を利用者が自由に変更制御できる方向で技術改良が進むものと思われる（「フレキシブル匿名認証技術」）。オニオンルーティングなど「匿名通信技術」は、一部のノードが停止するな

どの異常系での処理が課題となっており、どのような環境でも実現可能な匿名通信技術の開発が進められ、これと並行して実用化が進んでいくと思われる。

「機密情報の漏洩防止」に関しては、機密と指定された情報がネットワーク通信機器を経由して広がらないようにする仕組みを開発することが重要である。このためには、セキュアドキュメントフォーマットを制定し、そのセキュアドキュメントの流出を検知し防止する通信機器の開発が有用であろう。漏洩防止技術は、まずは、組織や企業から導入が進み、やがて個人も対象とした通常のインターネットへの普及が期待される。また、同時に、通常の文章だけでなく音声、画像、動画などマルチメディアデータへの拡張も必要であろう。インターネットへの普及に際しては、セキュアドキュメント化及び閲覧・更新の容易化・軽量化、また、セキュアドキュメントの解除・改ざん防止技術、通信阻止時の記録・通知の技術が課題である。

3-1-3.キーテクノロジー

「コンテキスト保護」技術はまず「個人情報秘匿化」技術が、暗号化や認証技術を用いたプライベートな情報に対するアクセス制限によって実現されるが、その後は、動的属性の秘匿（「推論攻撃対策（動的属性の秘匿）」）技術が出現すると見られる。その実現方法の１つとして、複数の属性で構成される動的な属性を、個人が特定されない程度に小さな属性に分割するとともに、分割された属性の中からサービスを受けるために必要十分な属性だけを抽出する手法を挙げることができる。この手法を、行動履歴情報を例に説明すると、行動履歴をまず行動の断片としての位置情報や時間情報に分割し、そこからサービスを享受するために必要な情報（例えば一部の位置情報）を抽出する手法となる。更に、抽出された情報（例えば丁目番地単位の位置情報）をより抽象的な情報（例えば市区町村単位の位置情報）へと変換することで、匿名性を確保することができる。また、複合属性の開示制御（「推論攻撃対策（複合属性の開示制御）」）技術には、まだ明確な技術の出現はないが、開示しようとする属性情報から、許可されたデータベースへのアクセスなどを通じて、どれだけ個人が絞り込めるかを評価し、それを利用者に提示して、開示制御を促す技術などが今後出現するものと考えられる。

また、サービス利用者の匿名性を確保する技術としては、サービス利用者の個人情報を直接参照せずに一定の条件を満たした正規のユーザであることを証明できる「匿名認証技術」の応用されていくものと考えられる。

「匿名認証技術」においてキーとなる技術はグループ署名技術である。グループ署名技術は同じグループに属する各署名者が互いに異なる署名鍵を持ち署名を生成し、その署名が（署名者を開示する必要のない）共通の検証鍵で検証できるという特徴があり、同じ属性を有する集団を一つのグループと見做すことによって、ID 情報を隠して属性だけを証明することが可能となる。一方、現在の匿名認証技術ではグループ署名を利用しているため、証明する内容と署名鍵が一対一に対応しており、証明する内容をフレキシブルに変更できないという問題がある。匿名認証技術は利用者が開示する内容を制御できることを目的としているため、今後はグループ署名を改良す

ることにより、証明する内容をフレキシブルに変更できる「フレキシブル匿名認証技術」へと発展していくものと思われる。

通信路を流れる情報からプライバシー保護を実現するキーテクノロジーには暗号化技術により属性を暗号化し、一時的な ID を利用することにより ID 情報を守る「送信者秘匿技術」と、「匿名通信技術」がある。「匿名通信技術」は受信者のアドレスと送信者の IP アドレスを秘匿した通信を実現する技術であり、代表的な方式としてオニオンルーティングがある。オニオンルーティングはネット上のパケットをパケット毎にランダムに変化させた経路を通すことにより送信側のアドレスを秘匿し、かつ送信先を含めて何層も公開鍵暗号で暗号化することで受信側の IP アドレスを秘匿する技術である。経路上のノードでは転送されてきたパケットの最上位層が復号でき、復号した結果から次の転送先と次層の暗号化データを取得して、転送先となっているノードに送信することにより実現される。オニオンルーティングは Tor という実験システムで既に実用化されており、誰でも Tor を利用して匿名通信が可能である。しかし実用面では、トラフィックが少ないと、たとえランダムに経路を選択したとしても、追跡により匿名性が破れる場合があるなどの課題を抱えている。また、一般にオニオンルーティングでは予め伝送経路を決めるため、途中通過すべきノードが故障等で消失するとその先には伝送できなくなるなど、解決すべき問題がいくつか指摘されており、匿名性を保つための運用とその評価方法の確立が課題である。一方で、このような技術課題を克服しつつも、一部のブラウザソフトのプラグインとして実用化段階に入ってきている。

「機密情報の漏洩防止」に関しては、セキュアドキュメント取り扱い技術（指定・解除・閲覧・更新）及び、それを検出し流出を阻止し通知する機器技術がキーテクノロジーである。セキュアドキュメントの取り扱いが重くては業務効率が阻害される半面、非セキュアドキュメントに容易に擬装できれば漏洩防止の役割を果たせない。また、漏洩の発生や発生未遂を初期段階で検知し、本人他しかるべき関係者に通知し対処を促すことは、事故を防ぐと共に悪意のあるものの試行を防止する観点からも重要である。

3-2.権利保護

3-2-1.技術の現状

デジタルコンテンツは、その特徴として①コピーしても劣化しない、②ネットワークで流通できる、といったものがある。これは、コンテンツの取扱いを容易にする反面、不正コピーなどの著作権侵害の被害を大きくするという問題があった。この問題を解決するために、デジタルコンテンツを用いたビジネスでは、コンテンツに関する権利を管理する Digital Rights Management 技術（DRM）を採用している。

DRM を構成する技術として、コンテンツの利用条件の記述方式や暗号化技術、セキュア通信技術がある。コンテンツの利用条件は、初期の頃はコピー許可の有無を示すコピー制御情報（Copy Control Information（CCI））だけであった。しかしその後、ユーザの利便性向上やビジネス上の必要性から、コピー回数や再生回数、再生期間など、コンテンツを利用する際の様々な条件を表現できるよう進化している。また、利用条件記述やコンテンツを、記録媒体へ記録したり、インターネットなどで配信したりするときには、暗号化が施され、正当な権利を持たない利用者がこれらのデジタルデータに不正にアクセスすることを防止している。

3-2-2.今後の見通しと課題

デジタルコンテンツの関連市場は、映画・音楽・書籍など様々な分野がある。また、コンテンツの流通に関しても、蓄積メディアによるものや、放送、ネットワーク配信など、複数の形態が存在する。デジタルコンテンツ市場の発展の過程で、各業界がそれぞれのバリューネットワークやコンテンツの利用形態に適した利用条件の記述方式を採用してきた結果、市場には複数の DRM が存在することになった。DRM は、定められた利用条件を超える扱いを制限する技術であり、基本的に Closed に設計されるため、異なる DRM 間での互換性がない、という課題がある。例えば、ある携帯電話で配信された音楽を購入した人が、別のキャリア会社の携帯電話に買い換えた際に、元の携帯電話で購入した音楽を新しい携帯電話で聞くことができない、という問題の原因の一部は DRM の互換性に起因している。

DRM で強固にコンテンツの権利を保護した結果、コンテンツをデジタル化したことにより得られる無劣化コピーや流通性というメリットが享受しにくくなっていることは、ユーザの利便性のみならず、「いつでも・どこでも」を可能にするユビキタス社会の市場創出の観点からもマイナスである。このため、デジタルコンテンツの DRM の相互互換を可能にする取組みが図られており、今後実用化されていくものと予想される。

3-2-3.キーテクノロジー

DRM 互換性を実現するための最初のステップは、１対１の機器間での単方向の利用条件の変換である。これは、例えばある DRM を採用した配信システムで配信されたコンテンツを、別の DRM を採用した蓄積メディアに書き出すことを可能にする技術である。この方式は「エクスポート」

と呼ばれ、基本的には書き出し元の DRM の規格が、書き出し先の DRM への変換ルールを取り込むことで実現される。これにより、一定の利便性向上が得られるが、書き出し元の機器で数多くの DRM 変換ルールを備えることが必要になるほか、新しく追加された DRM にすばやく対応できないという課題がある。

そこで次の段階として、各 DRM の相互互換のフレームワークを構築することで、複数の DRM 間の利用条件を相互に変換する技術が考えられる。これは、将来的にあらゆる機器がネットワークに接続された社会をターゲットとし、DRM の変換ルールのテーブルをネットワーク上のサーバで持つことで、異なる DRM を採用した機器間でコンテンツを相互に利用することを可能にする技術である。これにより、各 DRM は大きな変更を強いられることなく、また、ユーザは DRM を意識せずにコンテンツを利用することが可能になる。DRM の相互互換の実用化には、各 DRM が表現する利用条件の意図を損なわない変換ルールの構築や、関連する業界にとって納得性の高い運用ポリシーの策定が必要になる。

【参考文献】

・特許庁　「平成 17 年度　特許出願技術動向調査報告書　デジタル著作権保護（DRM)」，（平成 17 年 3 月）
・CORAL CONSORTIUM Whitepaper “Interoperable Media & Home Networks”，（June 2006）

3-3.認証

3-3-1.技術の現状

近年、テロの脅威や凶悪犯罪及び窃盗の増加にともない、公共機関、企業の重要施設及び一般住宅における入出管理の徹底が求められるとともに、ネット上での個人情報保護や機密情報流出防止も急務となっており、個人認証技術の重要性が高まっている。その中で、バイオメトリクス認証は、本人しか持ち得ない情報あるいは特徴を個人認証のためのキーとして積極的に活用する技術として注目され、指紋、指静脈、手のひら静脈、虹彩認証など、ここ数年の間に広く実社会に普及し、入出国管理や電子化パスポートなどの国家セキュリティから、企業内の内部統制・リスク管理や、個人の銀行口座管理や携帯情報端末まで、広く実用化されてきた。その結果、バイオメトリクス技術がセキュリティシステムのキー技術として広く認知されてくると共に、セキュリティシステム上の弱点（ぜい弱性）に対する課題等、新たな課題が生じてきている。

3-3-2.今後の見通しと課題

今後の方向性としては、認証精度の向上と利便性の向上に加え、新たに、ぜい弱性への対応が加わりの３つの方向性がある。

まず、認証精度の向上については、単体の認証精度の向上に加え、複数のバイオメトリクスを利用するマルチモーダル化の流れが出てきている。その一例として、国土交通省などによる国内の空港での虹彩認証及び顔画像認証の組合せによる搭乗手続きの自動化の試み等が行われている。また、究極的には、DNA のような情報まで使うと予想される。具体的には、DNA の情報を基に、鍵となる「DNA-ID」を作成し、それをもとに認証する。但し、DNA の抽出等に対し多くの時間やコストがかかることが課題である。

次に、利便性の向上に向けては、接触型から非接触型へ、認証のための手続きを陽に行う方向から、通常の動作の中での認証情報の採取に進化すると予想できる。例えば、指紋では接触センサに対しユーザが陽に指を置かないといけないが、今後、虹彩、顔等の非接触型認証技術の進化およびマルチモーダル化により、歩行中等の自然な状態での認証手続きが実行されることも可能になる。

最後に、ぜい弱性に対する対応である。バイオメトリクスによるセキュリティシステムの実用化が進むに従い、悪意をもった無権限者（すなわち攻撃者）が権限者になりすまし、システムを攻撃するといった課題が顕在化している。例えば、顔、指紋、虹彩、静脈など、身体的特徴に基づくバイオメトリクス認証では、生体に似せた人工物などによって他人になりすます方法がある。また、顔、指紋、声などの生体情報を盗み、それによってなりすます方法なども考えられている。その対策として、偽の身体情報を提示された場合、それを検知するための生体検知技術等が注目されている。

3-3-3.キーテクノロジー

バイオメトリクス認証を実現するキーテクノロジーとしてパターン認識技術がある。パターン認識技術は、入力された画像や音声のパターンから対象を識別する技術であり、代表例として、カメラで撮影された顔や虹彩のパターンで人を識別する顔認証や虹彩認証、スキャナで読み取られ指の指紋や掌の静脈パターンによる指紋認証や静脈認証、マイクで収集された音声パターンで人を識別する音声認証がある。顔認証や虹彩認証では、撮影された顔や虹彩の濃淡パターンを、登録されている濃淡パターンと比較し照合する。虹彩のパターンは、生後２年以降殆ど変化せず、兄弟でも異なるパターンであるため、虹彩認証では高い精度を達成できる。一方顔は、人間が見てもわかるものであるので、人間にとって最も馴染み易い認証であると同時に、認証時の顔が保存されることで犯罪抑止効果があると言われている。指紋認証では、読み取られた指紋から指紋の線の枝分かれしている点や指紋の線が行き止った点などの特徴的な点を抽出し、登録されている指紋の特徴点と照合する。静脈認証は、読み取られた掌の静脈の模様が、登録されている模様と一致するかを照合する。指紋も掌の静脈も、個人に特有の模様を有しているため、適切に撮影されれば高い精度を達成可能である。音声認証では、特定の言葉における音声信号の周波数成分を、事前に登録した周波数成分と比較することで照合する。

このように、パターン認識技術は、取得した画像や音声のパターンから特徴を抽出し、予め登録されている画像や音声パターンと照合することで、取得したデータが誰のものであるかを判定する技術である。従って、登録時と照合時のデータにノイズがなければ高精度な認証が達成できるが、登録時と照合時のデータ取得環境の違いに起因するノイズで登録データと照合データの相違が大きくなればなる程、認識の精度は低下する。また、登録時と照合時に全く同じ環境でデータを取得することはあり得ないため、100%の認識率は達成できない。このため実用化では、パスワードとの併用や、音声と顔などを併用する複合認証を行うことで認証精度を高める方式も検討されている。

また、ぜい弱性への対応として生体検知技術が注目されている。生体検知技術としては、生きている人間の体の電気特性（静電容量、インピーダンス、比誘電率等）、光学特性（光の反射・吸収・透過率等）、生理的特性（脈拍、体温、発汗等）を読み取り生体か否かを検知するということが行われている。さらに、読み取り部位に対して刺激を与え、その動的な反応を検知するといった方式が開発されている。例えば、常に同じ強さの光を同じパターンで発生させ、光の強度変化に伴う瞳孔の拡張･収縮のパターンを測定して生体検知情報とする等が検討されている。更には、この刺激をランダムに与えることで、なりすましを成功させるハードルを高くする試みが行われている。

【参考文献】

・半谷精一郎、“バイオメトリクス認証技術の動向とセキュリティシステムへの応用”，映像情報メディア学会誌，Vol.58，No.6，pp.750-752，(2004)．

・特許庁総務部技術調査課編、“電子ロックシステムに関する特許出願動向調査”、（2001）
・国土交通省　平成 14 年 11 月 5 日記者発表「航空チェックイン手続きの電子化等に関する実証実験」
・鷲見和彦編、“バイオメトリクスセキュリティの実用化最前線”，電子情報通信学会誌，Vol.90, No.12, pp.1025-1055, (2007).
・宇根正志，田村裕子，“生体認証における生体検知機能について”，金融研究，Vol.24, 別冊 2 号，pp.1-56, (2005).

3-4.暗号

3-4-1.技術の現状

情報ネットワーク社会が拡大、複雑化するに従い、セキュリティに関する事故や犯罪が広がっている。例えば、コンピュータウィルスやカード偽造、プライバシー侵害など直接ユーザに被害が及ぶ場合も多い。そのため、これらに対して適切に対策するセキュリティ技術、特にその基盤技術である暗号技術の重要性が高まっている。

最近、DVD や SD などの蓄積メディアにおけるコンテンツ保護、デジタル放送の保護、インターネットにおける SSL（Secure Socket Layer）など身近なところで暗号技術が使われている。ここでは、SSL を例として説明する。SSL は、Netscape Communications 社によって開発されたトランスポート層に位置するプロトコル（ソケット・ライブラリ）であり、暗号化と認証によりセキュリティを確保する。クレジットカード情報や個人情報を閲覧者 - 被閲覧者間で通信する際など、第三者による情報閲覧を困難にするため用いられる。公開鍵暗号を用いて、サーバを認証し不正なサーバとの接続を防止する。秘密鍵暗号を用いて通信路を秘匿する。

一般に、暗号技術の安全性と性能、コストはトレードオフとなり、応用や保護すべき情報の価値を鑑みたリスク分析を実施し、適切な暗号技術を用いることが重要である。また、暗号の安全性に完全はなく、新たな攻撃法の発見や、攻撃のためのコンピュータ性能の高度化に対応し、対策を着実に積み重ねていく必要がある。さらに、近年では、実装モジュールの動作時の電力変化から秘密情報を解析する電力攻撃【参考文献】なども盛んに研究されており、アルゴリズムのみならず、そのセキュアな実装方法も重要となっている。

【参考文献】

・神永正博、渡邉高志, ″情報セキュリティの理論と技術″, 森北出版株式会社, 2005.

3-4-2.今後の見通しと課題

1990 年から 2005 年にかけて、暗号解読の進展があった。中でも、2004 年に発表されたハッシュ関数の解読（衝突するペアの発見であり、応用分野によっては必ずしも重要な問題ならない）以降、米国国立標準技術研究所(National Institute of Standards and Technology, NIST)では、米国連邦政府機関での情報システムにおける暗号アルゴリズムを見直している。「SP 800-57」によれば、2010 年までにすべての米国政府標準暗号の強度を、現在主流となっている 80 ビット安全性のアルゴリズム（例えば、1024 ビット RSA、160 ビット楕円曲線暗号）を中止し、112 ビット安全性以上のアルゴリズム（例えば、2048 ビットの RSA、224 ビット楕円曲線暗号）に移行することが明記されている。

現在使われている暗号アルゴリズムの多くは、米国で開発された暗号であることより、上記 NIST の決定は、世界中に影響を及ぼすものと予測される。日本についても同様で、2010 年を境に、より高い安全性を有する次世代の暗号に、急速に移行するものと考えられる。

なお、暗号技術の標準化の推進に関する日本独自の取り組みとして、CRYPTREC（Cryptography Research and Evaluation Committees)という活動がある。これは、ミレニアムプロジェクト（1999年）や、e-Japan 戦略（2001 年）を背景に、電子基盤構築を目的として、総務省および経済産業省が主幹となって取り組んだ取り組みの１つであり、具体的な成果物として、2003 年 2 月に「電子政府推奨暗号リスト」を公表している。ここに掲載された暗号は、CRYPTREC が、今後 10 年間は安心して利用できるという観点から評価を行ったものであるが、暗号技術の経年劣化に伴う上記述べた NIST 等の動向や、CRYPTREC に対する社会的要請拡大を考慮し、当初より適宜見直しを行う計画をしている。これに従い、CRYPTREC では、2013 年度の電子政府推奨暗号リストの改訂をめざし､2009 年度に暗号技術の公募を実施する計画を公表した｡このリスト改訂の活動を通して、電子政府において常に安全で適切な暗号技術を選択する指針を与えるとともに、今後の改訂の仕組みを確立する。

その他、日本の取り組みとしては、現状、SC27 専門委員会や INSTAC が中心となり国際規格に対応した国内規格の作成や、国としての意見取りまとめ等の活動している。今後とも、暗号技術の国際的活動の中での日本の積極的参加と活躍が期待されている。

SC27 専門員会は、JTC1/SC27 国内審議のために情報処理学会が事務局となって組織された国内委員会であり､CRYPTREC でリストアップされた国産暗号の国際標準化に大きな貢献がある｡また、INSTAC では、暗号モジュールのセキュア実装に関する国際規格 ISO/IEC 19790 の JIS 化版 JIS X 19790 を 2008 年に策定済みである。また同時に、暗号モジュールが JIS X 19790 に適合しているかを試験機関で試験する方法を、JIS X 5091 およびその後継の JIS X 24759 にて規定済みである。なお、これに関連し、(独)情報処理推進機構では、電子政府推奨暗号リスト等に示された暗号アルゴリズムが適切に実装されているか否かの試験などを行う暗号モジュール試験及び認証制度(JCMVP)を 2006 年 6 月から実施している。2009 年 2 月 9 日時点で 9 個の暗号モジュールが認定され、IPA のホームページで公開されている。

3-4-3.キーテクノロジー

暗号方式には、主に秘匿性を守るための暗号関数、暗号関数を用いた相手認証、署名に分けることができる。また、これらを実現する上で補助的に用いられる、ハッシュ関数と乱数生成がある。

暗号関数は、さらに、暗号側と復号側で同じ鍵を用いる秘密鍵暗号、暗号側と復号側で異なる鍵を用いる公開鍵暗号に分けることができる。秘密鍵暗号は両者で同じ鍵を共有するための方法が別途必要である一方、一般に高速処理が可能であるため、大量のデータを暗号化するのに適する。公開鍵暗号は一方の鍵を公開することができるため、例えばインターネットのような不特性多数のユーザ間での認証に用いられる。

秘密鍵暗号の代表は、2001 年に NIST 標準となった AES 暗号である。この暗号は、危殆化が進んだ DES 暗号に代わる暗号として、NIST が主催した AES プロジェクト（1997 年～2000 年）の結

果として選ばれたものであり、128 ビットの安全性を有する。そのため、当面、致命的な欠点や解読法が発見されるなどがない限り、AES が標準として使われ続けるものと考えられる。

一方、現在のところの公開鍵暗号の代表は、RSA 暗号である。現在、多くの場合、1024 ビットの RSA 暗号が用いられているが、上記した NIST の方針に従い、順次 2048 ビットに移行していくものと考えられる。また、同等の安全性を、より短いビット数（224 ビット）で達成できる楕円曲線暗号への移行も進むものと考えられる。RSA 暗号や楕円曲線暗号は、解読の計算量が莫大であることに安全性の根拠をおく公開鍵暗号である。これは対応ビット数を上げることにより、安全性を強化する。また、攻撃者がどのようなことを行えるのかを規定した上で「証明可能安全性」を有した暗号、例えば RSA-OAEP（Optimal Asymmetric Encryption Padding）（参考文献）などが使われていくと予測される。

1996 年に Shor が、量子計算機を仮定し、巨大数の素因数分解問題、離散対数問題および楕円曲線離散対数問題を効率的に解く方法を示した。素因数分解問題は、RSA 暗号の安全性の根拠となっており、楕円曲線離散対数問題は、楕円曲線暗号の安全性の根拠になっている。量子計算機の実用化についてはまだまだという意見がある一方、もう少しという意見もあり、見解は定まっていない。しかしながら、RSA 暗号および楕円曲線暗号が危殆化する懸念が出てきたことは確かである。こういった中、量子計算機が実用化されたとしても使用可能な暗号（Post Quantum 暗号）が注目されている。その１つは、Ajtai-Dwork 暗号を代表とする、格子暗号である。これは、最短ベクトル問題や最近傍格子点問題という格子上の問題にその安全性を依存しており、これらの問題は NP 困難である。

また、量子暗号鍵配送も Post Quantum 暗号の１つで、現在、EU プロジェクト SECOQC 等複数のプロジェクトで、実用化に向けた研究および実験が進められている。これは、量子力学の原理にもとづき、盗聴されると通信の両端でその事実が分かることを利用し、安全な暗号鍵の配信を実現できる方法である。これら格子暗号や量子暗号鍵配送は、2006 年、2008 年開催の国際学会 Post Quantum Cryptography においても発表があり、今後こういったタイプの暗号の研究もますます進むものと予測される。

ハッシュ関数は、任意長のメッセージに対して、ある一定長のハッシュ値を求める圧縮関数である。その安全性は同じハッシュ値となる２つの異なるメッセージを求めることが困難であること（衝突困難性）で評価する。2005 年に、現在、最も使われている SHA-1 への攻撃（特殊な関係にあるメッセージの衝突が示された）が確認された。その後の NIST 主催のハッシュ関数に関するワークショップでは、2010 年までに SHA-1 から、より安全性の高い SHA-2 への移行が示された。また、2006 年 8 月には、SHA-1／SHA-2 に替わる新しい米国政府標準ハッシュ関数（Advanced Hash Standard：AHS）のためのコンテストのスケジュールが、正式に NIST から公表された。このスケジュールに従って、2008 年 10 月 31 日までの期限で新ハッシュ関数の公募がなされ、64 もの提案があった。その後内部レビューを経て、現在、51 提案が 1st round 候補として残っている。公表されたスケジュール案によると、2012 年に最終決定という約 4 年もの長期のプログラムになって

いる。

【参考文献】

・RSA Laboratories, "PKCS #1: RSA Cryptography Standard version 2.1", 2002, ftp://ftp.rsasecurity.com/pub/pkcs/pkcs-1/pkcs-1v2-1.pdf

4.基盤ソフトウェア

4-1.コンテキストプラットフォーム

4-1-1.技術の現状

(1) 情報検索の高度化

情報検索はインターネットや World Wide Web(WWW)の普及にともない広く利用される技術となっている。Google 等のインターネットの検索エンジンを利用することで、ユーザは入力したキーワードに該当する情報を全世界の Web ページの中から検索できるようになっている。インターネットの検索エンジン以外にも企業や官公庁での文書管理や情報共有を目的としたシステムや個人の情報整理のためのツールに情報検索の技術が利用されている。

これらのシステムで利用されている現状の情報検索の技術は、”bag-of-words”と呼ばれるアプローチ、すなわち、テキストを単なる単語の集合と見なすアプローチを基本にしている。このアプローチは検索要求と検索対象のテキストを単語に分解し、それら単語集合間の一致度に基づき検索結果を出力する。単語の一致の有無だけを見ているため、検索要求の意味を考慮した高度な情報検索を行うことはできない。Web ページを対象にしたインターネットの検索エンジンでは文書同士のリンク関係に基づき各文書の信頼性を推定するアプローチを採用しているものもある。しかし、検索要求の解析など、基本が”bag-of-words”アプローチという点では変わりがない。「だれ」、「どこ」、「いつ」、「なに」などの質問に答える自然文の「質問応答型検索（Factoid 検索、How 検索)」がインターネットで試行されているが、現状ではトライアルサービスに留まっている。

(2) 情報検索対象の広がり

インターネット上には、様々な言語のテキスト情報やテキスト以外のマルチメディア情報、すなわち、画像や映像などが存在している。言語に関しては情報検索のための言語処理系が多くの言語で整備され、検索対象と同一の言語で検索要求を入力すれば、該当言語の情報を検索することは実現されている。さらに、「言語間に跨るテキスト検索」としてキーワードを翻訳して外国語の Web ページを検索するサービスが出現してきているが、自然文を含む高度な検索要求に対応できるレベルには到達していない。

テキスト以外のマルチメディア情報については、人手により付与されたメタデータで画像や映像などを検索する「メタデータに基づくマルチメディア検索」がインターネットの検索サイトで一般化されている。例えば、有名人の人名をインターネットの検索サイトに入力すると、その人の画像データが検索できるようになっている。ただし、これはキャプションとして付与されたテキストなどを利用しているにすぎず、マルチメディア情報の内容を理解した検索を行っているわけではない。マルチメディア情報の検索に関してはこの他に、例えば鼻歌による音楽の検索や類似画像の検索など、マルチメディア自体の特徴量を用いた検索が実現されている。ただし、このような検索では検索要求自体もマルチメディア情報であるため、ユーザが欲しい情報の内容を言

葉で陽に表現することはできない。ただし、機能や対象が限定されているが、言葉でマルチメディア情報を検索するためのメタデータを自動的に生成する、「構造理解に基づくマルチメディア検索」に関連する製品やサービスは出現しはじめている。例えば、インターネットの写真共有サイトでは顔認識技術を利用して、人物の写っている写真に人名のタグを付与すると、同一人物が写っている写真に同じ人名タグが付与される機能が用意されている。

(3) データマイニング対象の広がり

データマイニングの技術は、企業がすぐにでも利用できるコンピュータソフトウェアとして既に市場に現れており、多くの企業が初期の頃から積極的にビジネスとして取り組みデータマイニングを活用できる土壌が整い始めている。応用領域としては、顧客動向分析（マーケティング）やバイオインフォマティクスなどすでに大量のデータが得られている分野から取り組みが進められてきたが、最近ではインターネット上で収集されるコミュニティ・ソーシャルネットワークに関するデータや、RFID タグ・ユビキタスネットワーク、センサネットワーク、デジタル情報家電ネットワークなどの発展により大量のデータが収集可能になり、データマイニングの対象が急速に広がりつつある。

(4) 異種システム連携／分散処理

インターネット・ユビキタスネットワーク・センサネットワークなどの情報ネットワーク技術ならび Web 技術は、異種システムを連携させ、複雑な情報処理を分散化することに大いに貢献している。特にインターネットを媒介としたコミュニケーションのコストを低減させ、産業・経済のみならず生活・文化・環境・政治など様々な分野での意思疎通の活発化に大きな効果を既に及ぼしている。現時点では、インターネットを経由したパソコンによる電子商取引が中心であるが、今後のユビキタスネットワーク・センサネットワークの進展により、携帯情報端末（携帯電話、PDA 等） や個人・物品認証用の RFID タグ、デジタル情報家電等によるユーザの利用シーンにおいても、異種システム連携や分散処理が進展することが予想される。

4-1-2.今後の見通しと課題

(1) 情報検索の高度化

処理しなくてはならない情報が増えれば増えるほど、人間の情報処理能力は有限であることから、情報検索には高度な処理能力が求められることになる。そのための情報検索の高度化は、ユーザの質問(検索要求)の複雑さとその回答生成の難易度の観点から「質問応答型検索（Factoid 検索、How 検索)」、「問題解決型検索（Why 検索)」、「自動レポート作成」の流れで技術開発が進められると予想される。(図 5-6.)

「質問応答型検索（Factoid 検索、How 検索)」は文書検索と情報抽出技術を組み合わせた形で研究開発が進められている技術で、“bag-of-words”アプローチからの脱却の第一歩として位置

づけられる。質問応答自体はエキスパートシステムが盛んに研究された 1970 年代に既に存在していた技術課題であるが、「質問応答型検索」は限られた分野の知識ベースに頼るのではなく、オープンな情報源である文書集合を参照して質問応答を実現することを狙った技術である。この中で Factoid 検索は、例えば「日本の首相は？」のような語句レベルで回答できる質問を処理するための技術である。また、How 検索は「DVD レコーダで追っかけ再生するには？」のような方法を尋ねる質問に対して回答を提示するための技術である。現在、Factoid 検索レベルのトライアルサービスがインターネットで開始され、また、Factoid 検索に限定されない多様な質問タイプを処理するための質問解析技術の研究開発が行われている。さらに、複雑な検索条件や漠然とした検索ニーズに対応するため、段階的に検索条件を具体化するための対話型検索技術の研究開発も始められている。

「問題解決型検索(Why 検索)」はトラブルシューティングにおける症状などの結果から原因を推定することを求めるような質問に対応するための技術である。「問題解決型検索」は情報抽出技術だけでは回答情報を特定することは困難で、情報間の因果関係を分析する必要がある。

Factoid 検索や How 検索のような質問応答型検索、Why 検索のような問題解決型検索が実現され、各種の質問に回答できるようになれば、異なる情報源から得られた回答の統合を行う「自動レポート生成」のための技術開発が行われると予想される。

(2) 情報検索対象の広がり

情報検索に関しては今後も言語とメディアの両面で検索対象を拡大するための技術開発が継続されると予想される。言語の広がりに関しては、今後、検索要求と検索対象の言語が異なる「言語間に跨るテキスト検索」の技術開発が重要になると考えられる。例えば、知的財産の正当な保護のため、言語を跨った多言語特許検索システムを構築することで、特許関連業務に費やしている技術者の知的生産性の飛躍的向上が期待される。対象言語には、中国や韓国など、今後、ますます関係強化が進められるであろう東アジアの国々の言語も含めた技術開発が必要になると予想される。さらに、このようなニーズに対応するためにはキーワードレベルの検索要求に対応するには不十分で、例えば、特許の検索においては請求項をそのまま入力して検索できるなど、高度な検索要求を処理できる技術開発が求められると予想される。

検索対象のメディアの広がりに関しては、人手で付与されたメタデータに基づくマルチメディア情報の検索が広く利用できるようになったことから、今後は画像や映像などの解析技術に基づいた技術開発に移行していくと考えられる。この技術開発は「構造理解に基づくマルチメディア検索」と「意味理解に基づくマルチメディア検索」の二段階で進められると予想される。「構造理解に基づくマルチメディア検索」は、映像シーンの自動判定や画像中のオブジェクト（例えば人物や静物）の同定といったマルチメディア情報の構造解析に基づく情報検索を実現する技術である。例えば、「ＸＸさんが登場しているシーン」といった情報検索を実現する。本技術に関する製品やサービスが PC やインターネット上に出現しはじめているが、解析精度の向上とともに対象コ

ンテンツやオブジェクトの種類を拡大する方向で技術開発が継続されると予想される。「意味理解に基づくマルチメディア検索」は、さらに深いマルチメディア情報の解析に基づき、指定したオブジェクトの有無だけでなく、画像や映像シーンが意味する内容、例えば、「サッカーのゴールシーン」といった検索要求で情報検索を行えるようにするための技術である。今後、人手による面倒なメタデータ作成作業がなくても、このような抽象的な記述で画像や映像シーンを検索できるようにするための技術開発が進められると予想される。

(3) データマイニング対象の広がり

今後１０年間を大きく 2 期（5 年後程度まで、それ以降）に分けて考える。現状から５年程度の期間では、データマイニングの応用は大量のデータを蓄積する枠組みを確立した分野や企業が先行することが予想される。現状では、データの量的拡大と質的向上に基づく展開が図られている。データの量的拡大としては、インターネット、ユビキタスネットワーク、センサネットワーク、情報家電ネットワーク等のインフラの発展に追従する形で展開が見られ、今後もこのような方向で対象が広がるであろう。またデータの質的向上に関しては、現在のデータの記録形式は主に SQL-DB に見られる表形式やテキスト形式であるが、これはデータの形式を単純な表形式やテキストで表現しているに過ぎず、今後 Web 技術の普及と相まって、より一層意味的に構造化されたデータが利用可能になると思われるが、現状での進展の速度はあまり速くはない。方向性としては、従来の Web に加えて、XML やウェブサービスの普及が予想され、その後には、XML のタグの意味を記述するマークアップ言語やそれらを相互に利用可能とするセマンティックウェブのオントロジー技術によって、RDF、 RDFS 等の普及が予想されている。更に新しい、データマインイングの対象領域として、有害サイトやネット攻撃などの有害情報の収集・分析の分野が重要となると思われる。これは、個人のプライバシーや企業の機密情報の漏洩検出・分析技術の方向に発達していき、インターネット利用における総合的安全・安心の実現技術につながっていくと予想される。

また、これまでの適用事例などからデータマイニング技術自体の課題も顕在化していくものと思われる。例えば、小売店におけるレジでの販売記録データ（POS 売り上げデータ）などが収集されていても、その記録内容が現在収集されている品名や価格・カード会員 ID などであれば、それの属性情報自体の意味が乏しく、消費者が複数の商品のうちどのような種類の商品を同時に購入するかを表す確率を推測する以上の情報処理を実現することは難しい。このような問題を解決するためには、人間の購買行動をより詳細に分析し、購買記録の背後にある商品の特性や顧客の価値観などの分析技術（ユーザモデル：人間行動の背後に存在する状態の把握）がより重要になり、そのための認知・心理的な評価構造の研究などが現在盛んに行われている。また、個人の行動に関するデータマイニングを超えて、複雑ネットワークの技術を用いたインターネット上のコミュニティ・ソーシャルネットワークに関するモデルとデータマイニングが進展することも予想される。これらの個人レベルでユーザモデルや、インターネット上でのコミュニティモデル関す

る推測技術が実用化されるのは基礎的な研究の期間を要するため、現在から 5 年程度の時間を要することが予想される。

5 年目以降の展開として、そもそもデータマイニングが扱うデータの内容そのものに変化が現れると思われる。それまでのデータマイニング技術が、コンピュータソフトウェアが自動的に取り扱い易い表データや記号的・言語的データを対象としてきたのに対して、デジタル情報家電に蓄積された動画像や音楽などの連続的な非言語データからの知識獲得が実用化すると期待される。デジタル情報家電の普及により、インターネット・パソコン上に限らず、家庭内においても多量の非言語的・パターン的デジタルデータの蓄積が進んでいる。現在、MPEG-7 のような技術標準においても非言語情報の取り扱いが規定されてはいるが、このような規格に対応する形で、動画像や音楽などの連続的な非言語データにメタデータを付随させる技術が進展するものと思われる。当初は、人手によってコンテンツに対応する言語データをコンテンツに付随させる方法が主流であろうが、画像認識・音声認識技術の進展によりコンテンツから自動的に言語的タグ情報を抽出しコンテンツに自動的に付随させる技術が進展すると思われる。これにより、ユーザ側ではインターネット、ユビキタスネットワーク、センサネットワーク、情報家電ネットワーク等の利用にあたり、より利便性が上がることが予想される。具体的には「個人により適応したサービスの発見・選択・合成・提供」、つまりユーザ１人１人が自分により合ったサービスを情報環境の中から見つけ出してきて選択を行ったり、また自分が必要とするようなサービスを、他から提供されるサービス群から合成する作業を、自分専用のパーソナルエージェントが自動的に行い、合成されたサービスをユーザに提供できるようになると予想される。

(4) 異種システム連携／分散処理

現状では、インターネット経由で多数のパソコンがサーバに接続する形で、システム全体として異種システム連携／分散処理が進展しているが、今後はこの対象が携帯情報端末（携帯電話、PDA 等） や個人・物品認証用の RFID タグ、デジタル情報家電、自動車にも広がっていくものと思われる。

今後１０年間を大きく 2 期（5 年後程度まで、それ以降）に分けて考える。今後５年間程度の期間においては、携帯情報端末・RFID タグなどの分野において、異種システム連携が Web や無線通信の標準化等によって進展することが予想される。たとえば携帯電話では、現在では携帯電話の通信事業者毎に特化したような形でサーバ上に情報サイトが用意されているが、これらの情報サイト間の差異を Web 技術が吸収するような形で相互の接続性が向上していくことが予想される。これは通信事業者を変更しても携帯電話の番号を継続できるナンバーポータビリティによって携帯通信事業者の変更が容易になったことの結果として、携帯電話向け情報サイト利用の相互接続性への要求が高まるだろうとの予想とも通じる。また、携帯情報端末に組み込む「組み込みソフトウェア」そのものの標準化も進展し、異種システム連携／分散処理の進展につながると予想される。たとえば、大手のオペレーティングシステム開発企業による携帯情報端末用のオペレーテ

ィングシステムの開発や、オープンソース・フリーのオペレーティングシステムの組み込み系ソフトウェアへの導入が現在進められており、5 年程度の時間の後、携帯電話等の組み込み機器も何種類かのオペレーティングシステムでの標準化が進展することが予想されるが、現在活発に進展しており、急速に展開する可能性も大きい。また個人・物品認証用の RFID タグに関しては、複数の ID 管理団体による標準化の取り組みが急速に進められており、5 年程度の期間の後には、RFID タグに複数の標準的な規格が与えられるものと予想される。また、デジタル情報家電に関しては、すでにネットワーク経由でデジタル情報家電上のコンテンツへのアクセスが可能になっているが、それらの主に Web 技術で構築されているアクセス用インタフェースの標準化が行われ普及していくことが期待される。

以上述べてきたような、携帯情報端末用のネットワーク上での情報サイトの標準化、組み込み機器のオペレーティングシステムの標準化、RFID タグの無線通信方式の標準化及びその普及等の進展により、5 年目以降は従来別々に進んできた多種多様なシステム（PC、 サーバ、携帯情報端末、RFID タグ、デジタル情報家電、自動車等）の相互接続性が向上することが予想され、異種システム連携／分散処理が急激に進展するものと考えられる。すなわち、現状では相互接続性が確保されていない携帯情報端末、RFID タグ、デジタル情報家電に関する複数の並立した標準化により、異種システム連携／分散処理に必要とされるデバイス・組み込みソフトウェア・アプリケーションソフトウェアの種類が整理され、機器・ソフトウェア相互の利用可能性が急激に改善することが予想できる。これは、携帯端末用情報サイト、携帯端末用オペレーティングシステム、RFID タグ、デジタル情報家電インタフェース、人車間・車々間ネットワークなどの標準化が進んだあとに期待できる効果であり、その実現には 5 年程度の時間を要するものと予想される。

4-1-3.キーテクノロジー

（1）情報検索の高度化

Factoid 検索では、従来型の文書単位の検索技術に加えて、質問から回答として得たい情報の種類(回答タイプ)を推定する質問解析技術と、回答候補となる語句を文書から抽出するための情報抽出技術、質問内容と照合して回答候補の適合性を評価する技術が要素技術になる。(1) 文書単位の検索で質問に適合する文書集合を絞り込み、(2) 質問解析の結果に合致する回答タイプの回答候補を文書から抽出、(3) 質問内容との照合により各回答候補の適合性を評価といった順番で処理を行い、最後に回答候補を適合性の高い順に出力する。また、上記の質問解析技術と情報抽出技術のさらなる技術基盤として、自然文解析技術や対話処理技術が重要となる。語の係り受けや省略語の推定、重要語の判定などを行うための高精度な自然文解析技術、および、特定の分野に限定されずにユーザから検索条件を引き出すための対話処理技術の開発が求められる。

How 検索においては操作や方法などの説明文を回答しなくてはならないため、語句にとどまらず説明文を対象とした情報抽出技術の実現が新たな課題となる。説明文を状況や操作、方法など、予め定められた種類毎に抽出し、それらを関係付けるための手法を確立しなくてはならない。

Why 検索においては、語句や説明文の情報抽出技術に加えて、質問内容と情報抽出結果の因果関係などを推定するための推論技術の開発が新たに必要になる。そのために、文書中の情報を用いた推論モデルの確立、推論の背景となる知識ベースの構築などが求められる。

自動レポート生成においては言語解析や一般常識などを用いて、回答の内容に応じてテキストや表などのユーザにとって都合のよい形式で情報を提示する、複数の情報源からの回答の重複や矛盾の解消を行うための技術開発が求められる。この中には、新聞記事と Blog のように異なる性質の情報を統合することや、グラフや表で表現された統計情報の変化を言語で説明するなど、テキストで記述された言語情報と数値などの非言語情報の相互変換を行うための技術開発が含まれる。

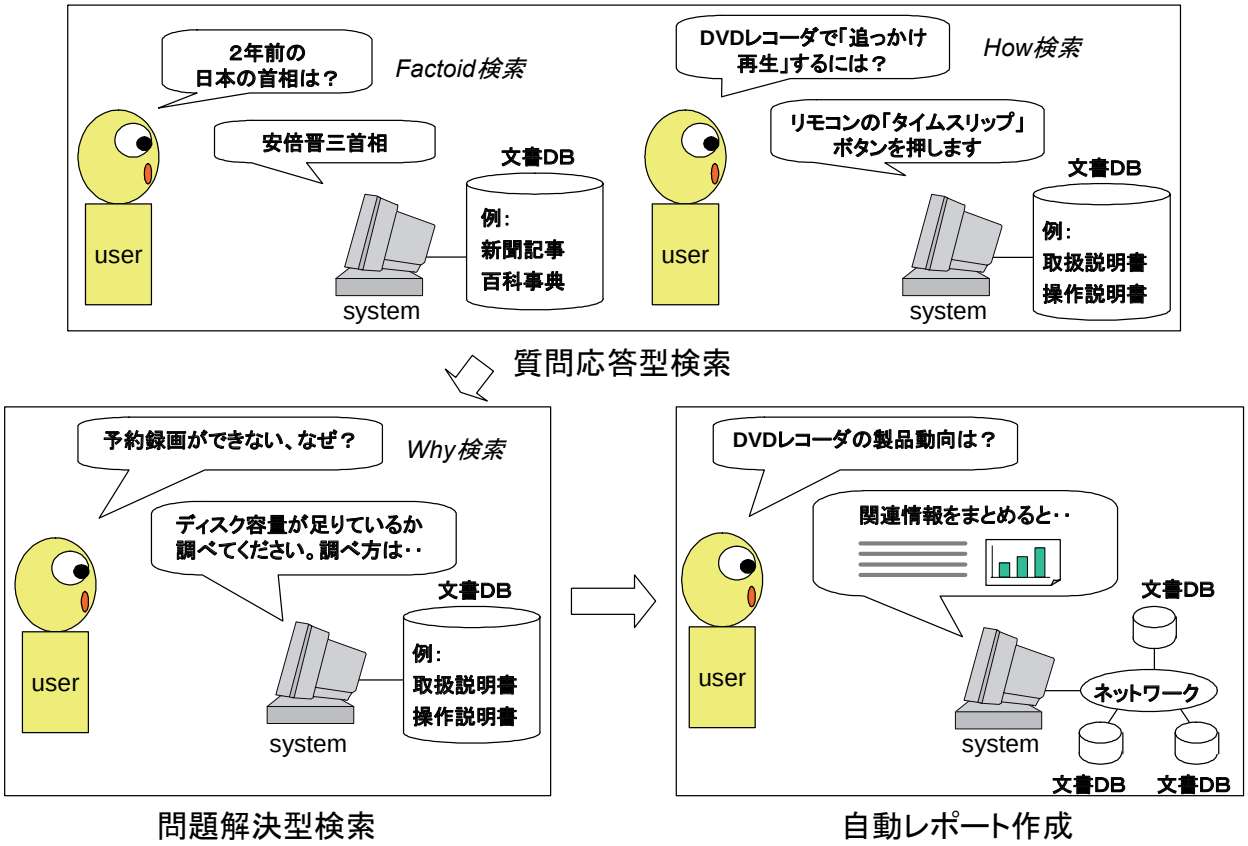


図 5-6　情報検索の高度化

(2) 情報検索対象の広がり

「言語間に跨るテキスト検索」は言語横断検索とも呼ばれ、盛んに研究開発が行われている。検索要求を検索対象の言語に合わせて翻訳するアプローチと検索対象の文書を予め想定ユーザの

言語に合わせて翻訳しておくアプローチに大別されるが、後者は翻訳処理量が多く、かつ、ユーザの言語が予めわかっている必要があるので、現在は前者のアプローチが主流になっている。また、検索処理本体の技術開発の他に、複数言語間の関係の記述も備えた多言語オントロジー（言語知識）を処理基盤として整備することが重要と考えられる。このようなオントロジーの整備を人手で行うと多大なコストがかかることから、大量のテキストデータの事例（コーパス）から同義語・類義語・対義語・上位語・下位語などの知識、および、複数言語間の語の対応関係を自動獲得するための研究開発が行われている。

マルチメディア情報の検索に関しては、人手で付与されたメタデータに基づく検索技術である「メタデータに基づくマルチメディア検索」と、自動生成されたメタデータに基づく検索技術である「構造理解に基づくマルチメディア検索」、および、「意味理解に基づくマルチメディア検索」について技術開発が進められると予想される。「メタデータに基づくマルチメディア検索」では、人手によるメタデータで表現された時間区間など、文書にないマルチメディア固有の構造を取り扱うための技術開発が課題となる。その中では検索要求に適した検索単位の決定（例えば、着目しているシーンの話題を映像全体のメタデータを利用して判断）などの技術を開発する必要がある。これに対して自動生成されたメタデータに基づくマルチメディア検索の技術開発は、登場するオブジェクトの有無など単純な条件で検索する「構造理解に基づくマルチメディア検索」から、マルチメディア情報が表現している意味を解析する「意味解析に基づくマルチメディア検索」へと進んでいくと予想される。「構造理解に基づくマルチメディア検索」では、映像シーンのような構造情報の自動検出、画像・映像中のオブジェクトの同定や音声・テロップ認識の結果を組み合わせて検索のためのメタデータを自動生成するための技術を開発する必要がある。「意味理解に基づくマルチメディア検索」では上記の技術に加えて、オブジェクトの位置関係や動きに基づいて情景や映像シーンを分類するなど、表現されている意味を理解するための技術開発が必要である。このようなマルチメディア情報の検索においては、特定の種類のコンテンツに依存しないことや、多様な検索要求に対応できるように膨大な種類のオブジェクトの同定や情景の分類などを実現することが求められている。

(3) データマイニング対象の広がり

データマイニングを量的・質的に発展させるテクノロジーの軸としては、1) 確率統計的知識抽出のための計算力の向上 2) 意味的情報処理能力向上ための推論技術の進展 3) データの意味的表現の導入によるモデルの精度向上 4) プライバシー保護技術の進展による社会的浸透度、などが挙げられる。1) 2) に関しては、単に高速なプロセッサやネットワークが出現するだけでは不十分であり、1) に関しては確率的推論、2) に関しては意味的推論といった情報処理のアルゴリズムそのものの進展が必要となる。これらの分野は現時点でも、データマイニング・マシンラーニング・人工知能・エージェントなどの研究分野において盛んに研究が進められており、着実な量的拡大（すなわち計算速度の向上）とともに質的発展が進んでいる。3) は主に Web・エージェ

ント技術の発展により、元データに意味的なメタデータが付加されることにより、データマイニングの質的発展が図られるものである。4）はプライバシー保護技術の発展により、市民・生活者のデータをプライバシーの侵害の恐れが少ない方法で利用可能にすることであり、データマイニング技術の一層の社会的普及に寄与するものである。特に悪意のある攻撃や詐欺からのプライバシー保護は重要な課題であり、そのためのデータマイニング技術、すなわち有害情報の収集・分析、及びプライバシーや企業秘密の漏洩検出・分析技術がキーテクノロジーとなるであろう。

（4）異種システム連携／分散処理

異種システム連携／分散処理を実現するためのキーテクノロジーは、ネットワーク通信におけるデータ形式の標準化、組み込みデバイスの基盤ソフトウェアの標準化、個人認証タグの無線通信の標準化、ネットワーク経由でのデジタル情報家電機器へのアクセスの Web による標準化等の技術が挙げられる。通信におけるデータ形式の標準化に関しては、インターネットと同様に、その言語記述系としての XML、 RDF、 RDFS の形式の採用であり、これらの進展が標準言語としての普及の鍵となる。同時にその処理系とは、XML パーザをはじめとする標準言語の解釈・実行を行うソフトウェアであり、その高速化ならびに計算資源・電源の低消費率に加えて、パソコンのみならず携帯情報端末、さらにはより微細・小型のデバイスへの普及が鍵となる。現状では組み込みデバイスにおける XML 等の利用は、携帯電話等のハードウェアの情報処理能力の問題から進んでいないが、今後の携帯情報端末のハードウェア能力の向上により、急速に進む可能性もある。組み込みデバイスの基盤ソフトウェア（特にオペレーティングシステム）に関しては、先に述べたように携帯情報端末向けの複数の標準プロジェクトが進展中であり、今後１０年ほどの期間でいくつかの標準に収束していくものと思われるが、急速な展開の可能性もある。RFID タグの無線通信の標準化に関しては、国内外の複数の団体が標準化作業を進めており、１０年ほどの期間でいくつかの標準に収束される可能性があるが。デジタル情報家電に関しては、エコーネット(Echonet)、DLNA 等の標準化の取り組みが現在進行中であり、その成果が待たれる。また、今後の大きな発展が期待される分野には、車と人を含めた無線通インタフェース技術があり、更に画像認識など他のシステムと連携した車両の統合安全システムへの進化が期待される。

4-2.ネットワーク相互接続

4-2-1.技術の現状

PC のインターネット接続に端を発した IP ネットワークが、PC 以外の情報家電機器に広がり始めている。デジタル TV や Blu-ray Disc(BD)/DVD レコーダなどの AV 機器に Ethernet インタフェースが搭載されるほか、携帯用ゲーム機に無線 LAN インタフェースが搭載されるなど、IP ネットワークに接続可能な情報家電機器が急激に増加している。情報家電機器同士の相互接続ガイドラインである DLNA (Digital Living Network Alliance) では、2006 年 3 月に拡張(expanded)ガイドラインが公開された。ここでは初版ではプレーヤ（表示機器）とサーバ（蓄積機器）のみだった対象機器がモバイル機器、プリンタなどを含めて大幅に増えており、宅内の情報家電機器同士の相互接続方式の有力候補となっている。対して、宅外との IP ネットワーク接続については、デジタルテレビ情報化研究会が策定した仕様に基づいたデジタル TV 向けの情報・映像配信サービスであるアクトビラ(acTVila)が商用サービスを開始している。また、BD プレーヤー向けのネットワーク機能を定めた規格 BD-ROM profile 2 に対応したサービスである BD-Live も 2008 年 12 月から国内で商用コンテンツが流通を始めており、情報家電のインターネット接続が一般化しつつある。この他、家庭内の簡易セキュリティ用途に向けて、Ethernet や無線 LAN に接続可能な比較的安価な Web カメラ製品が出始めており、UPnP(Universal Plug and Play)を使って簡単設定を実現している。今のところ PC への接続が中心だが、ネットワークカメラを接続可能な BD レコーダが市場に出はじめて、今後はデジタル TV や BD/DVD レコーダなどとの相互接続が進んでいくと予想される。一方、白物家電のコントロール系が主体の ECHONET では、インタフェースのみ実装しておく規格もでき、市場への早期浸透を試みている。長い視点で見て相互接続を考えると、IP ネットワークで相互接続されるという考え方もあるが、一方で ECHONET などのように、機器の実装コストを考え、できるだけ機器の価格に影響を与えない形を追求する必要もあり、いくつかのアプローチが存在するであろう。

4-2-2.今後の見通しと課題

ホームネットワークは、そのネットワークを構成する情報家電として、現在大きく、暮らし家電、AV 系家電、PC 系家電に分かれて、それぞれのドメインで進展してきている。これらを相互に接続することは、ユーザベネフィットの観点から非常に重要である。さらに、これらの情報家電機器が、宅外からもアクセスできたり、携帯電話や車載機器とも相互接続されることで、ユーザにとってユビキタスにサービスやコンテンツを享受可能なネットワークが実現されていく。

例えば、テレビで洗濯機の稼動が終了したことがわかったり、他の部屋に寝かしつけている子供に異常がないか監視しておいたり、家への来訪者に外出先にてリアルタイムで対応できたり、帰宅する少し前にエアコンを入れておいたりすることができれば、生活が便利になる。

また、今後はセンサをネットワークで接続して連携することにより、例えば人がいる場所を特定し、きめ細やかなエアコンや照明の制御を行って省エネを実現する、侵入者を検出して防犯を

実現するなどのアプリケーションが実現されると考えられる。このためには、前述の情報家電系のネットワークにセンサネットワークを相互接続することが課題となる。

これらの実現は、主として共通のインタフェースを有したミドルウェアによって行われることになる。このミドルウェアは、個々の情報家電機器に実装される他、宅外との接続を司るホーム・ゲートウェイに実装される例も考えられる。また、この相互接続において、プラグアンドプレイで接続でき、コンテンツやサービスの権利を、機器を渡って機器を意識することなく享受できるプラグアンドサービスを実現することで、簡単にサービスを受けられる情報家電ネットワークの構築が可能でなければならない。

さらに、ユーザの保有するネットワーク機器のリソースを有効に活用する分散協調制御を実現することで、ユーザが機器個別に制御を行うことなく、機器／デバイスの状態がマッピング／管理され、ユーザの目的を達成できるようなネットワークへと進化していく。また、IP 接続や非 IP 接続の機器も含めて、機器の位置や状態により、ネットワークを自動的に再構築し、伝送速度やセキュリティレベルに応じたネットワークに自らの接続を更新していくリコンフィギュアラブルネットワークを実現することで、常に快適なネットワークをユーザが維持できるように発展していく。

IEEE1394 の AV/C (Audio Video/Control) コマンドは、非常にシンプルな構成になっており、また伝送の際のオーバヘッドも小さい。さらにホストとなる機器を設けることなく、ネットワークを構成することができる長所を有する。しかし、AV/C コマンドはシンプルな構成をとっているため、専用リモコンで制御できるすべての操作を実行できない、あるいは異なる IEEE1394 ネットワーク間をブリッジして映像ストリーム、制御コマンドなどの送受信ができないなどの短所も有する。

ECHONET においては、機器が接続されると、機器の動作状態を含めて自動的に機器検出が行われ、制御可能な機器の情報をリアルタイムに知ることができる。また、機器の状態が変化したことを通知する機能を備え、通知された情報を元に機器間の連携動作を行うことができるなどの長所があるが、機器のネットワークへの接続を許可してよいかどうかを判断する機構が十分でない。また、ECHONET オブジェクトの定義の中で、機器の種類やプロパティの値の定義をあらかじめすべて決めておく必要があり、新しい種類の機器が出てきた場合の拡張性や自由度が低いという課題もある。セキュリティに関しては、認証機能と共通鍵暗号化機能が規定されているが、鍵の設定管理方法の簡単化が課題である。

一方で、情報家電の IP 化が進んでいく。IP アドレスの枯渇問題などを解決するために、IPv6 化する必要に迫られるが、IPv6 の 128bit の IP アドレスを人手で設定管理することは非常に困難であり、宅内間あるいは宅外からの通信において、宅内機器に対する名前と IP アドレスの対応付けを誰がどのように管理するのか(インターネット上の DNS(Domain Name System)でどこまで管理するのか)は、システム上の課題である。

セキュリティモデルに関しては、IPv6 のセキュリティとして IPsec が規定されているが、IPsec

だけでセキュリティ性能や相互接続性の確保が可能かどうかの議論は必要であろう。処理負荷に関しては、IPsec の暗号処理の負荷が大きいという評価もあり、低価格な機器や高速な伝送が必要な機器にとって、IPsec は十分なものか評価する必要があろう。

QoS(Quality of Service)に関しては、トラフィッククラス、フローラベルが規定されているが、この使い方については、設定値に対する QoS 処理の内容や帯域の保証も含めて、よく吟味する必要がある。また、宅内間の通信で、QoS 非対応の機器が混在した場合や無線などの異なるメディアを経由する場合の保証、宅外とのストリーム送受信などで、インターネットとの連携方法も課題である。

プラグアンドプレイに関しては、IPv6 で現状規定されているのは、IP アドレスの自動設定やデフォルトルータの設定までである。その他については、プラグアンドプレイをどのように実現するのか課題である。特に、機器検索やサービス発見を UPnP などのミドルウェアで行うのか、IPv6 の Zero-Config 機能拡張で行うのかも、システム上評価分析が必要である。

IPv4 から IPv6 への移行に関しては、移行期にはホームネットワーク内に IPv4 の機器と IPv6 の機器が混在する環境となる。この時、宅外との通信を IPv4 あるいは IPv6 で一本化するのか、IPv4 と IPv6 を切り替えて行うのか、モデルが決まっていない。また、宅内の IPv4 機器と IPv6 機器が通信を行う場合に、デュアルスタック対応によるコスト的な課題、通信相手の機器が IPv4 か IPv6 かわからないので、つながるまでの時間が遅くなるなどの課題がある。

IP 化が進む上で、現在は下位層として Ethernet や無線 LAN(IEEE802.11a/b/g)が主流であるが、今後は宅内に既に存在する配線インフラ活用できる方式として、電力線を使用した PLC (Power Line Communications) が増えてくると予想される。このため、これらの異なる方式の間で、QoS を含めた物理層、データリンク層の相互接続を実現することが課題となる。

昨今、インターネットを経由した放送の再配信や、VOD などの映像配信サービスが開始されており、放送と通信の境界が徐々にあいまいになりつつある。ユーザから見ると、番組を視聴したり、情報を入手する場合に、その経路が電波による放送経由、ケーブル TV 経由、IP ネットワーク経由のいずれであるのかは特に意味があることではなく、自由に見たい番組視聴できて、欲しい情報が入手できれば良い。このため、将来的にはユビキタスと宅内のネットワークの相互接続に加えて放送を統合した相互運用を、ユーザが意識しない形で実現することが課題となる。

現在の社会環境を鑑みると、ネットワーク相互接続が進化することで、ネットワークに参加する機器の数が増大するにつれて、省エネを実現する技術が今まで以上に求められるようになる。使用していないネットワークデバイスを休止するだけでなく、ネットワークトラフィックなどの負荷に応じて、通信のパフォーマンスを動的にきめ細かく制御することが課題になると考える。その後は、分散したネットワーク上において高度なキャッシュ制御を実現することで、ネットワークに参加している機器で必要な機器のみ電源を投入する制御が課題になる。これらの結果として一台あたりのエネルギー削減効果が小さくても、ネットワークに参加するノードトータルでは大きな効果を得ることができる。

4-2-3.キーテクノロジー

AV/C、ECHONET、UPnP の間のプラグアンドプレイはもちろんのこと、セキュリティまで配慮した相互接続が今後必要になる。さらに、コンテンツサービスのアプリケーションでは、コンテンツ保護の仕組みも配慮した相互接続が必要となる。このときキーになるのは、相互接続ミドルウェアの構築である。この際に、プロトコル変換、コマンド変換の方式がミドルウェアの実装によって異なると、ユーザが同じ機能を利用しようとした場合に、機器の挙動が違ってしまう可能性が生ずる。これを防ぐために、相互接続ミドルウェアの仕様を規格化する必要がある。また、ミドルウェアの実際の動作を検証し、認証する体制も併せて必要となる。一方、サービスとの機能連携を考慮すると、プラグアンドプレイのような機器認識までのレベルではなく、機器の使用に対して、表示機器の属性に合わせたコンテンツの配信ができるようになることも期待される。

宅外では、移動体と宅内の通信が問題となる。特に、移動体の速度とコンテンツの帯域確保の管理が重要になる。ユーザベネフィットの観点からは、車や携帯電話と宅内機器とのネットワーク連携は必須であり、車や携帯電話や宅内機器との統合化されたコンテンツ管理技術など、非常に重要な技術の構築がなされていく。このとき、コンテンツの権利を移動できるような技術やコンテンツのフォーマットを相互に変換できる技術を実現すれば、ネットワークによる機器の制御のみならず、ユビキタスにネットワークコンテンツを享受することが可能になる。

また、今後は宅内で映像情報サービスを利用する場合に、同様なサービスやコンテンツを放送、通信を含めて複数の手段で利用することが可能となる。このため、ユーザから見ると、放送や通信などの伝送手段による違いを意識せずに、サービス利用の選択肢としてのチャンネルが増えたものとして利用できた方が利便性が良い。このため、放送と通信の間でシームレスに連携を行う相互接続を実現するしくみが必要となる。この際には、同様なサービスにもかかわらず、伝送手段によって異なるインタフェースが混在することを防ぐために、統一的なインタフェースを有する相互接続ミドルウェア仕様の規格化が必須である。この場合、宅外の機器との相互接続を含めた統一的なミドルウェアになるであろう。

ネットワークにつながるホーム機器が増えてくると、それらを分散協調制御する動きが期待されるようになる。例えば、残容量が少ないホームサーバ機器への録画において、ネットワーク経由で残容量に余裕のある機器にユーザが意識せずとも録画できたりするような制御である。さらにこれらの技術が進む頃には、ネットワークインタフェイスとして、無線も含めて複数の物理層を持ち合わせるようになることが期待される。そのために、ネットワークを自ら再構成してネットワーク帯域の制限などを制御し、様々に構築される高速ネットワークの帯域を統合的に管理する技術、自ら都合のよいネットワークパラメータなどの自動設定技術、セキュリティ境界を段階的にフレキシブルに設定する技術などにより形成される、リコンフィギュアラブルネットワークへと進展していくことになろう。

また、ネットワークに接続される機器数の増大に伴い、省エネに関する技術の進展も期待され

る。この場合、ネットワーク機器単体ではなく、ネットワークシステムトータルとしての消費電力削減が必要である。これは、通信のトラフィックに依存して変動する CPU や通信コントロールデバイスの負荷に応じてクロックなどを動的に変更したり、不要なブロックをシャットダウンするなどの動的な電力制御技術、高度なキャッシュ制御を用いることで、ネットワークシステム全体で電源がオンされている機器の数を最小化する分散ネットワーク機器キャッシュ制御技術により達成される。

4-3.組込みＯＳ

4-3-1.技術の現状

組込み OS の分野では、主に産業用に使われてきたリアルタイム OS が今までは主体であり、国内はμItron、海外は VxWorks がトップシェアである。これらの OS は、“リアルタイム性を保障する”、“8bit、 16bit マイコン上の少ないリソースで動作する”ことが大きな特徴で、それまでの OS を使わない組込み機器のソフトウェア開発のスタイルを大きく変化させた。

しかしながら、従来の H/W を中心とした機器の基本性能をより高くする「高性能化」の競争軸に加え、最近はスタンドアロンではなく外部と情報をやり取りする「ネットワーク化」の競争軸、およびそれに付随して「セキュリティ」の競争軸が機器開発には必要とされている。この三つの競争軸を背景に、CPU はより処理能力の高い 32bitCPU となり、広大なメモリアドレス空間を管理するために MMU(Memory Management Unit)を持つに至った。組込み OS も同様に、MMU によるメモリプロテクション機能を駆使して、複雑な GUI アプリケーション開発を支援し、またバグのあるアプリケーションや悪意ある攻撃から自らを守る機能を持つノンリアルタイム型高機能 OS が登場するに至った。これらの OS は、スケジューリング、メモリ管理などの OS の基本機能以外に、ファイルシステム、ネットワークスタック、グラフィックシステムなどの多くの機能を統合的に提供している。

これらの高機能 OS の例として、PDA のために開発されたとされる WindowsCE や Symbian などが挙げられる。実際 WindowsCE は、PDA だけでなく TV や携帯電話に搭載され、また Symbian も、携帯電話の中でシェアを着実に拡大しつつある。また近年は、PC 用の OS として生まれたオープンソース OS である Linux の組込み用途への適用が大きな流れとなっている。2003 年末に登場したバージョン 2.6 系の Linux は、リアルタイム性の強化などが行われており、組込みへの適用がしやすくなってきた。現在は、Linux を搭載した携帯電話、デジタル TV、BD レコーダなどの情報家電製品が各社から出荷されている。これらの機器への適用が進むにつれて、これまで不得意とされてきたリアルタイム処理の改善や、低消費電力処理、起動時間短縮などが実現されてきた。一方、従来型のリアルタイム OS についても、たとえばμItron は T-Engine ソリューションの中で、VxWorks は 2004 年にリリースされたバージョン 6.0 において、メモリプロテクション機能のサポートを開始しており、今後は、組込み OS の機能面では着実に差がなくなる方向に進んでいくと考えられる。

4-3-2.今後の見通しと課題

今後組込み OS は、基本機能として、先に述べた「高性能化」、「ネットワーク化」、「セキュリティ」の三つの競争軸にそった機能面・性能面での拡張が進む。「高性能化」の軸では、情報家電機器に対する高機能、高性能要求の高まりに応えるために、「リアルタイム性能」、「マルチ CPU 対応」が、「ネットワーク化」の軸では、現在のようなプロトコルスタック単体での機能提供ではなく、複数の機器間で協調して処理を行うしくみを提供する「分散協調機能のサポート」が、「セキュリ

ティ」の軸では、ネットワークに機器を接続する際の外部からの悪意ある攻撃に対する「攻撃耐性強化」と、機器を接続してサービスを受ける際に必要な認証機能を実現するための「認証デバイスサポート」が、今後重要な分野となる。これら評価パラメータに対する機能・性能の改善は、従来型リアルタイム OS およびノンリアルタイム型高機能 OS の両方で進められていくと思われ、機能・性能の両面において、今後は両者の差が小さくなると思われる。

「リアルタイム性能」においては、2007 年頃にはノンリアルタイム型高機能 OS が、従来リアルタイム OS 並みの「μsec オーダのリアルタイム性」を実現し、その後 2009 年以降は「μsec 以下のリアルタイム性」を実現すると思われる。

また、情報家電機器におけるマルチメディア機能の充実に伴い、マルチコアの SoC（System On a Chip）を搭載する機器が増加するため、今後は、複数の CPU を用いて効率的に並列処理を行うための「マルチ CPU 対応」が重要となる。2007 年の頃には複数の CPU に対して動的にタスクの割り当てを行う機能を実現し、2009 年には複数の CPU 上で複数の異なる仮想マシンを実行する機能を提供するに至る。リアルタイム性能向上と併せて、家電製品においても、音声認識や生体認識などの重たい情報処理を可能とし、より自然なユーザインタフェースとともに、PC と同等の高機能なアプリケーションを享受できることになる。

一方、2011 年頃までには情報家電の「ネットワーク化」が進む結果、いろいろなものが簡単につながって複合的なサービスを期待できるユビキタスな環境が出現し、それに対応して新たな要求が発生する。「ネットワーク分散協調機能」、「攻撃耐性強化」、「認証デバイスサポート」などである。特に分散協調機能については、かなり早い時点で OS のサポートを要求される。CPU の処理能力を、「ネットワーク化」を基盤に分散処理によって確保することにより、単一の CPU 性能競争は意味を無くす。この場合、OS に依存せずにネットワーク自体がプラットフォーム化する。これを実現するためには、単なるリソース分散だけでなく、異なる CPU アーキテクチャかつ異なる OS 間で、処理を分散させることのできる仕組みの開発が課題となる。

また、情報家電機器をインターネットに接続してサービスを享受するために、PC と同等レベルのセキュリティが求められるようになる。2007 年にはアクセス制限を用いた外部からの「攻撃耐性強化」が行われるようになり、2010 年には仮想化技術を用いることにより、OS そのものを隠蔽する機能が組込み OS においても実現する。一方で、インターネットサービスにおけるパーソナライズの進行に伴い、情報家電機器においても、より強固な個人認証が求められるようになる。OS としては、指紋認証を始めとしたバイオメトリクス認証用デバイスのサポートが必要となる。デバイスのサポートは、バイオメトリクス認証のトレンドにフォローアップする形で進行し、2016 年には DNA 認証デバイスのサポートも実現するであろう。

組込み OS を基盤ソフトウェアとして捉えた場合、今後は従来の OS としての定義から広がる方向に進んでいくと予測される。PC の世界では S/W プラットフォームとしての OS が、ネットワーク機能の一般化に従い、ブラウザ環境を含めたプラットフォームに進化しつつある。組込みの世界でも、今後は、GUI を含めたユーザインタフェースの基盤としての機能が重要となってくると

考える。当面は組込み機器にてリッチな GUI を実現する組込み向けのグラフィックス基盤が登場し、その後は音声入力や、モーション入力の標準的なサポートが進展する。その後はリモコンなどのインプットデバイスが不要なジェスチャー入力方式がサポートされ、2015 年頃からこれらを全て含めた統合ユーザインタフェース基盤が実現するであろう。

今後は、前述の 3 つの競争軸以外に、「省エネ」という新たな競争軸に沿った開発が組込み OS でも重要となると考える。CPU や周辺デバイスが搭載している省電力機能の標準的サポートを始めとして、H/W を含めた高速ハイバネーションや、S/W 処理による CPU 消費電力低減が課題となる。

なお、情報家電においては、CPU+組込み OS は、PC のように Intel x86＋Microsoft Windows のような 2 社寡占状態に収束することは想定できない。なぜなら PC は、エンドユーザにとっては用途に応じた、PC アプリケーションソフトウェアを使うことが目的である。その目的のためには、CPU や OS は統一されることがベストである。しかしながら情報家電は、購入した機器を使うことが目的である。その目的のためには、CPU と OS の統一はかならずしもユーザメリットにはならない。ただし、CPU が 8bit、 16bit、 32bit と処理速度が上がるにつれ、アーキテクチャ数が減っているのと同様に、組込み OS についても数年前の数百という種類から一桁台に収束しているのも事実である。最終的には、機器は数種類の CPU と数種類の組込み OS の組み合わせで構成されるであろう。そして、その段階においては、Intel x86＋Microsoft Windows も分散ネットワークにおける単なる一つの組み合わせとなるに過ぎない。

4-3-3.キーテクノロジー

「高性能化」に対応するキーテクノロジーは、オーソドックスな「リアルタイム性」向上技術である。リアルタイムとは、機器として、ある処理を実行する必要性が発生してから実際に実行されるまでの遅延時間を保証することである。たとえば、自動車であれば「ブレーキが踏まれた→アンチロックブレーキが動作する」までの最長時間は、車体重量、最高速度、路面状況などから決まる値である。この値が 0.5 秒であれば、確率的に 0.5 秒以下であるということではなく、いかなる場合でも 0.5 秒以下であることを意味する。これを保証するためには、CPU の割込みをマスクしている時間、割込みが入って必要なプログラムがスケジューリングされる時間、スケジューリングされたプログラムが実際に実行される時間、実際に実行されている間に他のプログラムが割り込んでくる時間などを、CPU が持つタイマーを最優先にして、厳しく管理する必要がある。このための仕組みを OS が持っているものをリアルタイム OS、持たないものを単に組込み OS と使い分けてきた。先に述べてきたように、CPU の処理能力の向上に合わせ「確率的擬似リアルタイム性」ですむ分野から、「ネットワーク化」のユーザニーズに対応した組込み OS の台頭が注目されているが、今後の対応が必要な技術である。

「高性能化」に対応するもう一つのキーテクノロジーは、「マルチ CPU 対応」技術である。元々はハイエンドサーバなどで、複数のプロセッサを用いて分散処理を行うために使われているが、デジタル TV などによる HD 映像コンテンツの再生や、ビデオゲーム機における高精細アニメーシ

ョンなどを実現するために、マルチコアの SoC を用いることが一般化する中で、今後重要となる技術である。特定のタスクを特定のコアに割り振る非対称なマルチプロセッシングに対して、タスクを動的にコアに割り振る対称なマルチプロセッシング（SMP）を行うことで、CPU 使用効率の向上を図る。

「ネットワーク化」によって、従来型の OS からミドルウェア、アプリケーションまですべてを垂直統合した機器単体ソフトウェアから、分散協調動作により、異なるミドルウェアやアプリケーションを動かす必要がでてくる。これを実現するキーとなる技術が「ネットワーク機器協調サポート」である。従来のように、OS としてのネットワーク機能のサポートをネットワーク層までではなく、上位層の分散協調プロトコルまで含めて OS で実現し、共通の上位インタフェースを提供する。

次の段階として、2014 年頃から分散ハードウェア仮想化技術によって、アプリケーションが実際の機器の構成を意識することなく、ネットワーク上の複数の機器を組み合わせて仮想的な機器として動作させる環境が実現するであろう。その後、組込み機器同士をインターネット上で組み合わせてグリッドコンピューティングを実行する環境に推移すると思われる。この際には、設定を行わずにこの環境を構築するために、インターネットグリッドコンピューティングのためのプラグアンドプレイ技術が必須となる。

「セキュリティ」を支えるキーテクノロジーは、「メモリプロテクション」利用技術である。メモリプロテクションとは、CPU のメモリ空間を仮想的に管理する MMU の機能を OS がサポートし、OS が動作するカーネル空間とアプリケーションのプロセスが動作するユーザ空間を物理的に分離し、さらにプロセスごとのメモリ管理を可能とする機能である。本機能により、PC では標準的なプロセス型アプリケーションソフトウェア開発が組込み機器でも可能となり、特定のアプリケーションのバクによる暴走、またはユーザがダウンロードした悪意あるプログラムから、特定プロセスとして作られたユーザデータを保護することが可能になる。この次のステップとしては、「セキュア VM(Virtual Machine)」技術がある。従来の OS を、セキュリティ機能を強化した仮想マシン上で動作させることによって、OS を外部から隠蔽してセキュリティを向上する。その後は、アプリケーション認証制御技術によって、組込み機器上で動作するアプリケーションを認証することで、悪意があるプログラムの実行を防ぐためのしくみを OS がサポートするようになる。

ユーザインタフェース基盤として、当面は、組込み機器においてもリッチな GUI を簡単に作成することを可能とする軽量なグラフィックシステムがキーとなる。この際に単なるウィンドウの管理・制御だけでなく、ユーザインタフェースを作成するための軽量なウィジェットを含めた実現が必須である。その後は、音声入力やモーションセンサによるモーション入力デバイスの制御技術を始めとして、ジェスチャー入力デバイスの制御技術を用いて次世代のインプットデバイスを OS が標準サポートするようになる。最終的には 2016 年頃にグラフィックスシステムと前述の次世代インプットデバイスを統合したユーザインタフェースミドルウェアを構築することにより、ユーザインタフェース基盤を標準的にサポートするようになると考える。

「省エネ」を支えるキーテクノロジーは、当面は、CPU の低消費電力モード制御技術や周辺 I/O への電力供給制御技術のサポートが中心となるが、その後、H/W の初期化も含めて、システム起動後のメモリ状態、プロセス実行状態を高速で再現することを可能とする、高速ハイバネーション技術が実現される。また、2015 年頃には、プログラムの動作状態に応じて、CPU クロックの制御とタスクのスケジューリングの最適化を統合的に実行する、クロック適応型タスクスケジューリング技術によって、S/W による CPU 消費電力低減が組込み OS によってサポートされるようになる。

5.デバイス・機器

5-1.ホームサーバ

5-1-1.技術の現状

地上デジタル TV 放送のハイビジョンデジタルサービスの普及に伴い、大容量のハードディスクや光ディスク（DVD、BD、HD-DVD）を備えた TV 番組の録画装置が家庭に普及している。　また、CD やダウンロードした音楽コンテンツや映像を大量に蓄積・再生してパーソナルで楽しむ携帯用のモバイル AV プレーヤーも普及してきた。

蓄積メディアの大容量化、ビット単価の下落、アクセススピードの高速化は今後一層進むと予想されるが、その進展に合わせ蓄積再生装置は VTR やカセットプレーヤーの代替機器という位置づけから、家庭のホームサーバやパーソナルユースのポケットサーバーに発展していくと見込まれる。

特に、デジタル放送受信機能、インターネット接続機能、パッケージメディア再生機能まで備えたコンシューマ向けホームサーバは、ブロードバンドの普及により放送事業者、通信事業者、コンテンツホルダーの提供する高画質映像のネット配信サービスの受信プラットフォームの役割を担い、情報家電発展の中心となる新しい情報機器へと変化を遂げていくと考えられる。技術的には、記録メディア、CODEC、システム LSI の高性能化が、その進化を支えている。

ハードディスク、半導体メモリ、光ディスクの大容量化が飛躍的に進み、無料放送全チャンネルの週／月、さらには年単位の全チャンネル無料放送録画、コンテンツのネット配信が現実のものになると、ユーザビリティの観点からは新たな技術が重要になってくる。

それは、膨大なコンテンツの中から欲しいものを適切に選び出し有効に利用する技術である。

さらに、ホームサーバに期待されるのは、ホーム・ゲートウェイやセット・トップ・ボックスの機能を全て内蔵させることである。すなわち、インターネットとホームネットワークの間で、ホーム・ルータ、プロトコル変換、ファイアウォールなどの機能をもち、家庭内の異種で複数のネットワークを相互に接続や、ネットワークの違いを吸収する役割をもたせることが期待される。現状、家庭内ではエンターテイメント系（ＡＶ機器、ＰＣ系）を中心としたネットワーク化が進展しているが、今後、くらし環境系（白物家電）のネットワーク化も普及していくと見込まれる。ECHONET コンソーシアムを中心に各種標準化も進んでおり、セキュリティ、省エネ、ヘルスケアなどのサービス事業の立ち上げに同期して発展していくと考えられる。

5-1-2.今後の見通しと課題

大量のコンテンツが自由に閲覧できるようになったとしても、利用者には全てを視聴する時間はない。膨大な情報から自分の欲しい情報にすばやく正確にアクセスする技術、中身を短時間で確認できるような技術が求められる。例えば、スポーツ番組ならば、ハイライトシーンだけを取りこぼし無く抽出する技術、コンテンツの概略を自動抽出する技術などが必要となる。既に市場には、一部の機能を備えたものが出回っているが、今後爆発的に増大するコンテンツを自由自在

に操るには、飛躍的な技術の進歩が必要である。

見たいコンテンツが明確でTV番組や映画のようにタイトルも分かっている場合は、簡単なテキスト検索で番組アクセスは容易である。

しかし、膨大なコンテンツから見たいものを探す作業は簡単ではない。視聴者は見たいコンテンツを明確にイメージできている場合は少なく、一部または要約をみて判断することが多いからである。放送のように構成がしっかりしている場合数十番組程度であれば、次々とチャンネルをリモコンで切り替えながら番組を確認する方法、いわゆるザッピングしながら好みのものを見つける場合が多い。しかし、膨大なコンテンツが存在する場合はザッピングは不可能で、所望のコンテンツに確実にたどり着くための技術が必要不可欠になる。

上記のニーズで重要な役割を担うと期待されるのがメタデータである。既に、メタデータの標準化については作業が終わっているが、実際には本格的なサービスは始まっていない。メタデータによって利益を生み出す有望なビジネスモデルを生み出せていないのが一因である。詳細なメタデータを付加してもコンテンツを高く売れる可能性がなければコストを回収できないため積極的な対応をすることができないわけである。また、要約などが簡単に見られるような仕組みや、コマーシャルを自動的にカットできるような仕掛けはサービス提供者のビジネスモデルや制作者の意図とは異なる方向になることから実行ができないのである。

ユーザの利便性と事業者の考えるメタデータビジネスに乖離があれば普及は望めない。メタデータ付与の起爆剤として期待されていたサーバ型放送は規格ができたもののサービスは実現されていないが、有望なビジネスモデル構築が難しいことも一因と思われる。このような状況ではメタデータがコンテンツに普通に付与されてくるということは当面困難と考えられる。

結局、ユーザ側に便利となる仕組みや、重要情報を探す仕組みは、サービス側に全てを期待することに無理があり、ホームサーバに一部の機能を持たせることが重要になってくる。

コンテンツの認識理解を自動的に行い、対話機能による利用者の意図理解、ユーザの嗜好解析とレコメンデーション、その時々の心理や体調などを考慮したコンテンツ提供は夢のホームサーバのキラーアプリになると考えられるが、そこにいたるまでの研究開発のステップは次のようになると考えられる。

ステップ1

現状、EPG（電子番組表）が広く利用されているメタデータのひとつである。また、クローズドキャプションやビデオ映像内の文字認識により、テキスト検索を有効に活用する方法が今後、実用化されていくと考えられる。視聴履歴やリモコンの操作履歴から視聴者の好みのコンテンツを推定紹介するレコメンデーションの機能も使われ始めている。

さらに、コンテンツ中のシーンの切り替わりを映像や音で認識抽出して、サッカーのゴールシーンを集めたサッカーダイジェスト、同様に取り組み部分だけを集めた相撲ダイジェスト、投球打席シーンのみ集めた野球ダイジェストなどのように、分野を特定して要約を見るような機能に

ついても実用化が進んでいる。

ただし、今の段階のレコメンデーション機能、検索機能ともに、付加機能の域を超えておらずそれがキラーアプリとなって製品間の優劣を決める状況には至っていない。よりユーザが飛躍的新しさを感じるようなさらなる高度化が必要不可欠である。

ステップ２

本節の冒頭で述べたように、メタデータの充実は、ビジネスモデルの不明確さがあって普及が遅れている。逆にビジネスモデルが明確になった場合、それが必ずしもユーザの利便性にはつながらない可能性もある。今後の一つの可能性として、ユーザ側からの仕組みの提供があげられる。すなわち、フォークソノミー（folksonomy：インターネットコミュニティーの中で創造されたタグ付けシステム）とビジネス志向のメタデータとの連携技術が使われるようになる可能性がある。これはとりもなおさず、社会動向が反映された検索システムとも位置づけられる。

コンテンツの構造解析もこの時期になると技術が進み、単純なシーンチェンジや音声パワー解析による盛り上がり検出を脱却、分野ごとに様々なモデルが提案され、応用分野が広がっていくと考えられる。

以上のような技術が進む中、著作権処理の問題などの法律問題も整備され、デジタル放送、IP放送、Web 動画など数多くのコンテンツにアクセスでき、リーズナブルな対価を支払うことで二次利用ができる道も開けることが期待され、視聴者が一定の制約のもとで扱えるコンテンツの数が飛躍的に増大すると考えられる。

一方、アクセス可能なコンテンツの数が飛躍的に増えると一般ユーザは好みのものを検索することが困難になる。そのとき、メタデータ、視聴履歴による嗜好解析、社会動向を反映させた形で適切にレコメンデーションする技術がアンビエントファインダビリティ検索である。

ステップ３

夢の技術として、コンテンツ解析を自動的に行い意味や意図を抽出し、そのときの視聴者の状況に応じて最適のコンテンツを選んでくれるシステムの実現が望まれる。さらにそのシステムは視聴者との対話機能を備え、ユーザ意図を理解し適切なコンテンツを選んでくれるようなシステムである。その夢のシステムはコンテンツ・コンシェルジュ（案内人）というべきものあろう。

技術以外のステップ３までの共通の課題として、メタデータの充実、ビジネスモデル、コンテンツの二次利用など著作権問題など、仕組みの問題があげられる。また、検索システムやそれにまつわるビジネスがグーグルなどに席巻されつつある中、日本発の検索システムをいち早く開発することも重要な課題となり得る。この点については 2007 年度から開始された経済産業省「情報大航海プロジェクト」の成果が待たれるところである。

ホームネットワークの中心的機能を担うホームサーバへの期待は高い。既に来客のカメラ映像

をデジタルテレビで確認、ＤＶＤレコーダに録画する製品などが出始めている。今後、ネットを介しての制御が可能な白物家電や、各種センサ機器が多く出回るようになると、それらに対するリッチなユーザインタフェースやコントローラの役割をＡＶ機器側が担えるようになり、暮らし系機器とＡＶＣ系機器がつながるメリットを多くの人が享受できるようになる。どのようなサービスが、いつごろ普及するかは、その時代の世相を反映した社会的ニーズ、導入コストによって変わると考えるが、防犯・防災、省エネ、ヘルスケアなどが有望であると考えられる。

5-1-3.キーテクノロジー

今後、家庭内で中心的な役割を担うと目されるホームサーバを開発するための基盤技術は、大容量・高速アクセス可能な蓄積デバイス、トランスコード、解像度変換などメディア変換技術、蓄積管理技術、シーン認識、要約、画像認識理解、音声認識理解、自然言語理解、可視化技術、高速ブラウジング、著作権保護技術、コンテンツ解析編集技術、ユーザインタフェース技術などである。

それらをアンビエント検索技術、コンテンツ・コンシェルジュ技術のコンセプトで纏め上げることが求められている。

また、暮らし系家電やセンサネットワークがホームサーバ（ゲートウエイ）を介して、ＰＣ系・ＡＶ系などの各機器と接続されると、新しいサービス・プラットフォームが家庭内に構築されることになる。普及のポイントは、魅力あるサービス・アプリケーションの開発とユーザインタフェースにある。

5-2.センサ／スマートタグ

5-2-1.技術の現状

センサネットワークを実現するための無線センサノードを販売する企業は当初米 Crossbow のみであったが、現在では、日立製作所、三菱電機、日本電気、沖電気工業などの企業が新規参入している。現在機能にもよるが、センサノード 1 台あたり 100 ドル程度で販売されている。センサネットワーク市場の第一段階の目標として軍事利用や産業プラント管理などでの利用が目されて、研究目的や実証実験目的の成果があげられてきたが、ついに、2006 年には、国内において大規模なプラント管理での実使用が開始された。これを可能としたのが、2004 年に入り、無線センサネットワークの無線通信機構の標準として策定された 2．4G 帯を使用し、スロット方式の CSMA 通信を採用した ZigBee（802.15.4）と、超低電力なノード制御の技術である。これにより、4 年以上の電池寿命が可能となり、実用化が可能となった。今後様々な領域でのセンサネットワークの利用が促進されることが予想される。

スマートタグ技術は、既に特定領域での利用は行われており、技術的には実用化の域に達した面もある。例えばペットの管理、ファクトリオートメーション、運輸関係では実際に使用されている事例が存在する。しかしながらスマートタグの利用はあくまでも特定領域での使用に限られており、サプライチェーンマネージメント、社会基盤レベルでの障害者サポート、食品トレーサビリティへの利用は依然として導入には大きな障壁がある。そのボトルネックとなっているのが情報基盤と社会基盤の問題である。今後は情報基盤と社会基盤の整備が進められると同時に、横断的なスマートタグを利用したサービスが生まれてくると想定される。

5-2-2.今後の見通しと課題

センサネットワーク技術は、スマートタグ技術の初期と同様に徐々に特定領域への市場展開がされていくと考えられる。現在市場展開が注目されている領域として、軍事利用と工場プラントなどでの遠隔監視などが期待されており、既に実際に導入されて実稼働を開始している。

センサネットワークでは、ノードの数が膨大であるため、電池などの交換ができない。そのため、バッテリー駆動で数年単位の動作をすることができる低消費電力技術が求められる。特に無線通信はこれまで高速化が主な研究開発のターゲットであったが、低消費電力な通信技術が実用的なレベルに達した。キー技術となっているのが ZigBee であるが、ZigBee はスター型の通信形態では低消費電力で動作するものの、メッシュ型の通信形態では消費電力がより大きくなるが、きめ細かなノードの制御技術で実用的な領域に達した。今後は、プラントだけでなく、幅広い人のセンシングに使える技術の確立が求められる。

センサノードの価格は、現在 10,000 円（100 ドル）程度であるが、短期的な目標としてはまず、1,000 円以下での実現が求められる。現在技術的には適応可能な領域に対しても、センサノードの単価が高価であり、かつ必要なセンサノードの数が膨大であるため導入が見送られている。さらに、将来的な一般家庭のセキュリティや水質管理、家電の制御などへの応用を考えると 10 年以

内に 10 円以下で実現可能になることが期待される。低コスト化の極限では、使い捨てノードが可能となり、この技術の適用範囲は爆発的に広がると期待される。このためには、無線通信などの個々の要素技術を確立すると共に SoC（System On a Chip）などの技術によって複数の機能を１チップ化する技術が必須となる。

スマートタグは現在ペットの管理や運送関係などの特定領域では既に実用化されている。しかしながら、サプライチェーンマネージメントや商品トレーサビリティなどの複数システムの横断的なサービスは実現されていない。その大きな原因として情報基盤と社会基盤の整備がまだ済んでいないという問題が存在する。情報基盤としてはタグ ID とタグ ID に関する情報を結びつけるための技術の研究開発が急務である。これに向けた技術として EPCglobal の ONS（Object Name Service）やユビキタス ID センターの ucode 解決サーバといった技術が検討されているが未だ世界的な標準とはなっていない。スマートタグでは管理する ID の数が膨大であるため、DNS といった既存の分散システムではスケーラビリティの観点から対応が難しいことが予想され、今注目されている DHT（分散ハッシュテーブル）などの新しい技術が必要となる可能性がある。社会基盤の整備としては使用可能な周波数、アドレス体系などの標準化による互換性の実現やプライバシーに関するガイドラインの制定などを行わなければならない。

これに加え、将来的にスマートタグが高機能化されることが予想される。例えば温度センサを具備したスマートタグをワインに付与することでワインの流通管理と品質管理を同時に行うことができるようになる。このような技術はセンサネットワーク技術の一部であり、最終的にはセンサネットワーク技術とスマートタグ技術が統合されていくことが予想される。

センサネットワーク技術は要素技術が確立されるにつれて徐々に特定領域での利用が行われていくと考えられる。それと平行し、スマートタグを中心としてセンサネットワークを含めた社会基盤の整備を実現することでより広範なサービスを生む礎となる。

5-2-3.キーテクノロジー

センサネットワークを実現するためのキーテクノロジーとして、(a)低消費電力無線通信技術、(b)センサノードに対するネーミングなども含めたデータ管理技術、(c)センサノードの位置同定技術、(d)電源技術、(e)小型化技術、(f)セキュリティ技術が挙げられる。

a) 低消費電力技術の実現のための鍵となるのは、プラントや人装着などの使用形態に特化した、統合的な低電力技術である。センシング、コンピューテーション、無線通信、システムアーキテクチャ、データ管理、データ処理などの複数の技術レイヤに跨る最適化を行うことが求められる。従来、それぞれ技術レイヤの専門家が、レイヤ内で努力することが多かったがそれでは効果は限定的である。これらを縦断的に見たときに初めて大きな低電力化が可能となる。無線通信では、現在標準化が進んでいる UWB（Ultra Wide Band）は周波数方向にデータを分散させることで短い時間でたくさんのデータを送信することができる。この技術を用いることでデータ送信にかかるコストを削減することが可能となる。

b）センサネットワークでは、取得されるデータの量が膨大であるため、センサノードに対するネーミング技術、データ記述技術、データ保存技術などのデータ管理技術が必須となる。特に複数のセンサネットワークを横断的に使用するような利用形態を考えた場合、各センサネットワーク間でデータ記述等の標準化も重要な要素となる。さらに重要なのは、膨大なセンサデータを処理し、価値を生むものに変換する技術である。従来の情報技術では、論理的なデータの扱いは膨大な蓄積があるが、このような量のデータの扱いは、科学技術計算や金銭計算に限定されて行われてきたため、センサネットワークからの幅広い量のデータの扱い方は今後の大きな課題となる。

c）センサネットワークの位置同定技術は、膨大なセンサノードの中から「ある点(X、Y)の周囲10メートル四方の温度」といった検索や「X ビル 4F の 408 号室の温度」といった検索をする際に必要になる。センサノードの各位置の同定を手入力で行うことは想定されているノードの数から現実的ではなく、GPS や UWB（Ultra Wide Band）などの無線技術を用いたものや、超音波を用いたもの、画像処理によって同定するものなど個々の技術によって自動的にセンサノードの位置を同定する技術が必要となり、状況に応じてこれらの技術を使い分ける必要がある。

d）センサネットワークでは、センサノードの数が膨大であるため電池の交換などが困難であり、少なくとも数年単位でセンサノードを継続使用できる必要がある。これに向けて、無線通信技術の低消費電力化と同時に新しい電源技術が必須となり、パッシブ RFID タグのような電波の反射波の利用、空気の振動からの発電、ソーラーパネルを使った発電、液体燃料を使用した次世代電池など、センサノードの使用領域に応じたさまざまな電源技術の研究開発が必要である。

e）小型化技術は、センサネットワークの適応領域を広げるために必要となる。スマートタグがμチップのように小型化されることで 2005 年日本国際博覧会（愛・地球博）の入場券に採用されるなどの応用が広がったように、センサノードの小型化により下水に流して水質汚染を管理するといった利用が可能となる。小型化技術のポイントとしてはセンサネットワークの要素技術を確立し、SoC などの技術によって１チップでさまざまな機能を実現することが考えられる。

f）センサネットワーク技術はスマートタグ技術と同じように実空間の情報を仮想空間に取り込む技術であるため、プライバシーの問題と密接に関係する。特に一般家庭内や人体組み込み型のセンサネットワークの使用を想定した場合にセキュリティは致命的な問題になる。そのため、プライバシーを守ることができるようなデータの暗号化も含めたセキュリティ技術が重要になる。特に、現在スマートタグで検討されているような制限されたダイサイズでの暗号化回路の実現など物理レベルの問題からセンサネットワーク内における鍵の配布問題、社会基盤レベルのプライバシーガイドラインの制定などさまざまな問題を解決する必要がある。

6.ディスプレイ

近年、放送と通信の融合が進む情報通信分野において、放送のデジタル化、情報量の大容量化、通信技術の高速化、ブロードバンド化およびシームレス化によるユビキタス環境の進展が著しい。これに伴い、フラットパネルディスプレイ(FPD)の高性能化、高機能化、多様化へのニーズが高まっており、特に、TV・PC・情報家電が融合された電子情報機器システムにおいては、HMI（ヒューマン・マシン・インタフェース）の果たす役割は極めて大きい。既に FPD 産業の世界的市場においては、従来のブラウン管(CRT)ディスプレイから FPD への置き換えがほぼ完了しており(図 5-7)、時間・空間を超えた情報化社会の中で、人の行動パターンと一体化した大画面の薄型・軽量ディスプレイ機器は無くてはならない存在であり、ユビキタス社会を具現化する重要なハードウェアのひとつと位置付けられる。また、省エネ化や環境負荷低減を目指したグリーン IT 構想、エネルギー効率を徹底的に高めて「温室効果ガス排出量を 2050 年までに半減」という長期目標達成に向けたクールアース構想が推進されており、情報ディスプレイ分野の技術開発は、大画面化、高画質化に留まらず、電力消費、パネル形態・周辺部材、生産工程などのすべてにおいて、省エネルギー、省マテリアル、省スペースへの対応が要求されている。

2008 年の後半に起きた世界的な経済不況の影響により、FPD 産業においても当面は厳しい局面を迎えている。そうした背景の中でも、FPD 産業への投資は我が国を含むアジア圏を中心に拡大しており、特に、韓国、台湾、中国を中心とした戦略的な投資が継続的に行われ、次世代ディスプレイを含めた技術開発および生産シェアにおいて、我が国の企業との競合が著しい。

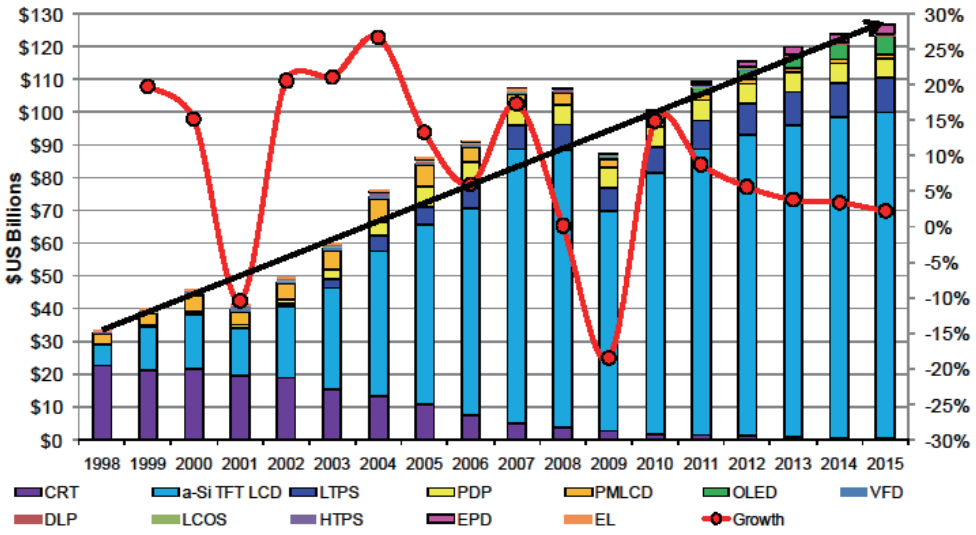


図 5-7　ディスプレイ技術別の市場規模

（出典：第 16 回ディスプレイサーチフォーラム(2009 年 1 月)）

FPD を技術的に大別すると、液晶（LCD）、プラズマ（PDP）、有機 EL（OLED）、電界放出（FED）、等がある。これらの FPD は CRT と比べて、薄型、軽量、低消費電力化に適しているため、大画面 TV、モバイル機器などの新しい市場・用途を創造してきた。例えば、大画面の薄型 TV 分野では LCD と PDP、携帯電話や携帯情報端末（PDA）等の小型ディスプレイには LCD を中心として一部に OLED が搭載されている。現在、FPD の技術別市場規模では LCD が約 80％を占めているが、ディスプレイ先端技術の進歩は極めて速く、今後は有機ＥＬディスプレイ、電子ペーパーなどの次世代ディスプレイの開発が進み、新たな用途の拡大が予測される（図 5-7）。今後、各方式が抱える技術課題が解決され、一層の高性能化・高機能化が進むにつれて、その特徴が明確になり、産業、社会の様々な局面で、いわば適材・適所に FPD の利用が広がっていくと予想される。

FPD を用途別に分類すると、①携帯電話、ノート PC、デジタルカメラ、ナビゲーションなどの中小型サイズのパーソナル/モバイルユース、②薄型 TV、デスクトップモニターなどの中大型サイズのホーム/オフィスユース、③超大型ディスプレイ、デジタルサイネージに代表されるパブリックユース、が挙げられる。市場全体に占める比率は現時点では、ホーム/オフィスユースが金額ベースで 50～60％と最も大きいが、今後はディスプレイ全体の市場規模の拡大の中で、パーソナル/モバイルユースおよびパブリックユースの比率が増大するものと予想される（図 5-8）。

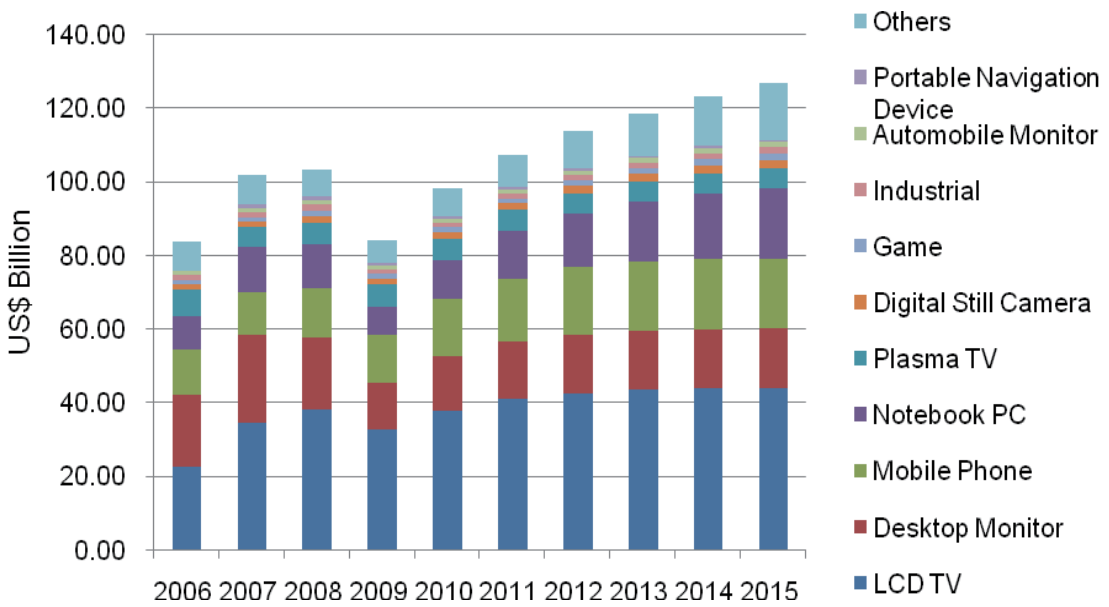


図 5-8　用途別市場規模

（データ出典：第 16 回ディスプレイサーチフォーラム(2009 年 1 月)）

ホーム/オフィスユースを目的としたディスプレイに要求される技術課題として、大画面の均一性、表示容量の向上、高視認性・高判読性、高画質に対応した動画性能や色再現性の向上が挙げられる。更に、低消費電力化、コスト対応力の強化および低環境負荷化が求められる。今後の進展が期待されているパブリックユースでは、一層の低消費電力化に加えて、フレキシブル化およびそれを実現するための革新的な生産プロセスの開発が必要である。一方、パーソナル/モバイルユースのディスプレイへの要請は、小型でも十分な情報量を確保するための高精細化、明暗の使用環境に依存しない高視認性・高判読性、美しい動画表示能力や広い色再現範囲などの高画質化・高表示性能化が挙げられる。また、薄型・軽量化に加えて、この分野においてもフレキシブル化への期待が大きい。更に、電子ペーパーおよび立体ディスプレイを用いた新たな機能や用途の開発が予想される。

今後 10 年間を見据えた場合、情報ディスプレイの更なる進展には表示性能の向上、省エネルギー化に対応したデバイス設計・駆動方式に加えて、ビジュアル・インタフェースとしての利便性(ユーザビリティ)が重要である。そうした要求に対応するため、ディスプレイデバイスはその形態および機能面において更なる多様化・高機能化が予想される。以下の説明では、各種の FPD 技術をその適応性を踏まえて、パーソナル/モバイルユース、ホーム/オフィスおよびパブリックユースのそれぞれの分野について、(1)技術の現状、(2)今後の見通しと課題、(3)技術革新を支えるキーテクノロジーの 3 項目に分け、その詳細を述べている。なお、別紙にまとめた「ディスプレイ分野の技術ロードマップ」においては、現時点における技術の類似性を考慮し、ホーム/オフィスユースとパブリックユースをひとつの分類構造として記載した。

6-1.パーソナル／モバイルユース

6-1-1.液晶ディスプレイ

（１）技術の現状

パーソナル／モバイルユースの液晶ディスプレイ(LCD)は、携帯電話、デジタルカメラ、携帯ゲーム機、ポータブルオーディオ、車載、PDA など、様々な用途で使用されている。中でも、携帯電話のメインディスプレイ向けが台数・金額とも半分以上を占め、主要アプリケーションとなっている。ディスプレイサーチの統計データによると、2010 年に携帯電話メインディスプレイ用 LCD は、全世界で 14 億台を超えると見込まれ、2014 年には 20 億台を超えると予想されている。

現在、携帯電話のメインディスプレイ LCD は、出荷台数の多い順から、カラーTFT [注1)] LCD、カラーSTN [注2)] LCD、モノクロ STN LCD である。しかし、Nokia 社は、2010 年までに世界市場でカラーSTN やモノクロといったパッシブマトリクス LCD がほとんどなくなると予想している。これは、現在日本市場で標準となっているカメラ付き携帯電話に使われているカラーTFT LCD と同等仕様の LCD が、世界中の携帯電話に搭載されることを示唆している。

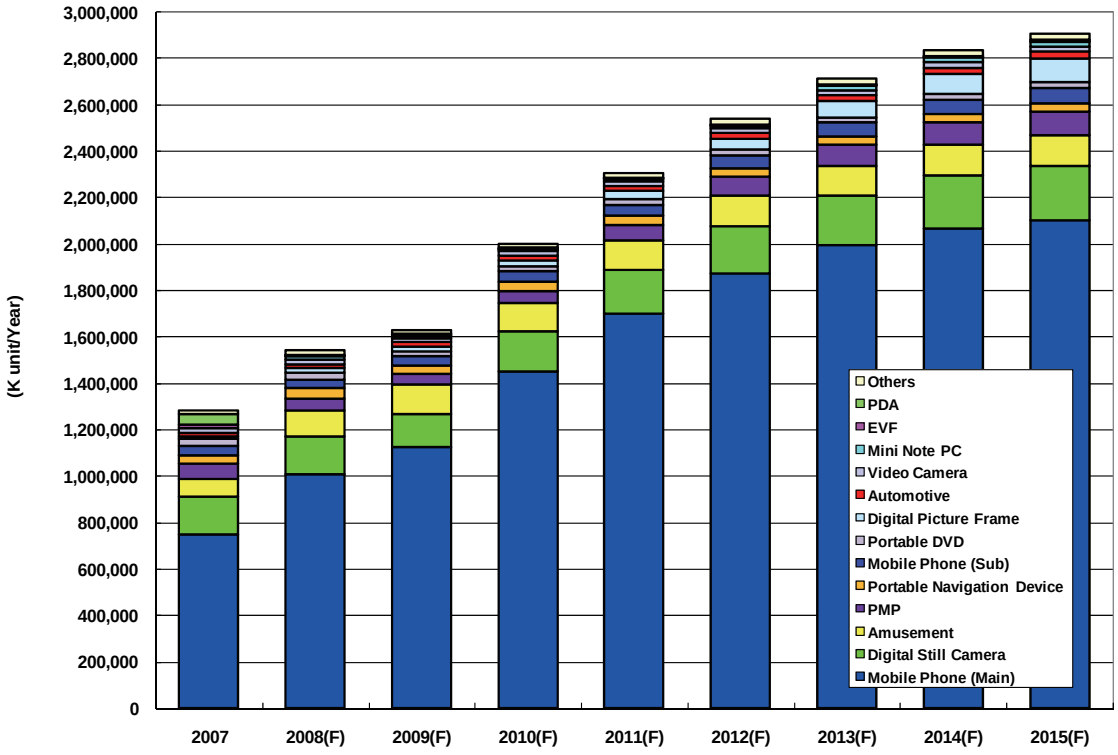


図 5-9　中小型 TFT-FPD 出荷数量予測

（出典：第 16 回ディスプレイサーチフォーラム(2009 年 1 月)）

注[1] TFT (Thin Film Transistor)：薄膜トランジスタ。液晶を封入したガラス基板上に TFT を形成して、電圧をかけて液晶を動作させる。
注[2] STN (Super Twisted Nematic) 上下基板間で液晶分子が 180°～270°ねじって配向された液晶。

（２）今後の見通しと課題

現状の携帯電話用カラーTFT LCD は主に日本、韓国、台湾の LCD メーカーが製造しているが、これらのメーカーは低機能機種（カラーSTN あるいはモノクロ代替）および高機能機種（カラーTFT）の、低コスト化技術開発および更なる高機能化技術開発を行っている。低コスト化技術開発は、プロセス技術およびディスプレイ基板や光学シートといった材料技術のイノベーションである。高機能化技術は、カラーTFT の製造プロセスおよび、表示性能技術のイノベーションである。特にカラーTFT は、精細度や表示均一性の向上などに対して開発要素が多い。

現在我が国においては、代表的な携帯電話のメインディスプレイは、2.4 型 QVGA（320×240 画素、精細度約 170ppi（pixel per inch））から 3.2 型 WVGA（854×480 画素、精細度約 300ppi）へと移ってきている。付属するカメラも 3～5 メガピクセルから 8～10 メガピクセルへと高解像度化が進んでおり、動画対応化、ワンセグテレビ放送対応化などの高機能化に対して、鮮明な画像を表示することが求められる。

携帯電話にカメラが搭載されて携帯電話とデジタルカメラが融合したように、携帯電話と PDA との融合、携帯電話と MP3（携帯音楽）プレーヤーとの融合等が既に始まっており、これら融合機能を表示するモバイル型液晶ディスプレイには、今までの携帯電話と異なる技術革新が要求されると考えられる。

（３）キーテクノロジー

低コスト化、軽量化、薄型化に対しては、基板ガラスの薄型化やプラスチック基板の採用、光学シート（偏光板、導光板、拡散板）類の削減あるいは一体化開発が行われる。

高機能化に対しては、TFT の技術革新と画質の革新が必要である。TFT は現状アモルファスシリコン（α-Si）と低温ポリシリコン（LTPS：Low Temperature Poly Silicon）が使われている。駆動周波数（画素数に比例）の高速化やデザインルールの微細化のためには、トランジスタの移動度が高いことが要求される。この点において、TFT は α-Si ⇒ LTPS⇒ 準結晶化 Si⇒ 結晶化 Si へという進化をたどると考えられる。

また融合型携帯電話に必須な、長時間使用に耐えるバッテリーや超低消費電力型ディスプレイが求められる。消費電力を低減するためには、バックライトの低消費電力化はもとより、反射を重視した反射半透過型 LCD においては、反射率の向上技術として高反射電極およびその構造開発が行われる。更に動画やワンセグテレビに対応するためには、液晶テレビ並みの動画性能やコントラストが必要であり、テレビ用 LCD 技術のモバイル型 LCD への移植、即ち新規配向技術、偏光板等の光学フィルムの改善による動画応答時間（MPRT：Motion Picture Response Time）の短縮が求められる。また個々のアプリケーションに即した必要機能の取り込みや、ディスプレイ周辺システムのディスプレイ基板内への集積が進む。このためにもガラス基板上 Si の結晶化技術開発は重要度が高い。

一方、ガラス基板によるリジッドなディスプレイを進展させ、フラットな壁に掛けるディスプ

レイから、湾曲した壁や柱に貼り付けることが出き、更に取り扱いに便利なフレキシブルディスプレイも品揃えに入ってくると考えられる。

6-1-2.有機ＥＬディスプレイ

（１）技術の現状

有機 EL ディスプレイは、液晶ディスプレイやプラズマディスプレイに対して、動画特性、視野角依存性、低消費電力特性などの点で凌駕し得る将来デバイスとして期待されている。しかしながら、フルカラーディスプレイとしての量産は、パーソナル／モバイルユースの限られた一部分野にての事業展開がなされているだけの現状にある。一般的に、ディスプレイ量産化の発展は、中小型サイズのパッシブ駆動のモノクロやマルチカラーディスプレイへの参入、アクティブ駆動のフルカラー化、大型フルカラーディスプレイの本格量産、というステップで進んでいくと考えられている。つまり、技術と事業の展開シナリオとしては、パーソナル／モバイルユースを起点として大型ホーム／オフィス／パブリックユースへの移行がなされていくが、その途中段階で長い期間が経過しているのが現状である。

その主たる理由として、パーソナル／モバイルユースでは、一般的に言われている発光寿命や映像焼付き寿命の目標が、用途によっては十分に達成できているとは言えない現状がある。さらに、低消費電力・高輝度・高精細度などの性能が他の FPD 競合技術のレベル以下に現時点では留まっていることも重要な課題である。また、本質的に有機 EL が保有する薄型軽量という長所が圧倒的な差異化ポイントとして活かされると考えられてきたが、最近では液晶ディスプレイにおいても薄型軽量化が進んで来ており、有機 EL ディスプレイとの差異はわずかなものとなりつつある。加えて、高い生産性に基づくコスト競争力の確保も極めて重要な要素である。

有機 EL デバイスの製造には、EL 発光層の課題とその発光層を駆動するための TFT 素子基板（バックプレーン）の課題がある。従来は発光層の課題、とくに発光材料とインターレイヤーの課題解決に開発プロジェクトの重点が置かれてきた。バックプレーンに関しては、各企業の個別努力の範囲に位置づけられてきたが、競合技術の開発の進展に伴い改めて大きな開発テーマであるとの共通認識が確認されつつある。

（２）今後の見通しと課題

パーソナル／モバイルユースにおいては、低消費電力と低コストが最大の課題となる。これを両立させるためには、発光層の課題に加えバックプレーンの高均一性製造技術が非常に重要である。また、高精細から超高精細に渡る有機 EL 層形成技術も共通課題として残されている。

加えて、量産商品としての普及を考慮すると、製造コストに関しても製造装置、製造プロセス、製造歩留まりなどが LCD 技術と競合できるレベルに至っていないことも極めて重要な課題である。更に、薄さ・軽さの点においても LCD を凌ぐ薄型を可能とする薄膜等での封止技術も課題である。

一方、抜本的なイノベーション技術として、フィルム基板を使用したロール・ツー・ロール（R2R）製造技術に繋がる各種要素技術開発も重要な競争要素となる。有機 TFT の構成材料・連続成膜が可能な有機 EL 材料・R2R 塗布技術・R2R パターニング技術などを着実に進展させることが重要な課題となる。

（3）キーテクノロジー

・ 長寿命化としては、高階調表示での焼き付きに課題が残っており、材料の継続的な開発が必要である。
・ 色再現範囲の拡大に関しても、LCD が実現しつつある NTSC 比[注3)] 100％の達成は必要であり、ブルーの材料の開発には今一歩の加速が必要である。
・ 低消費電力化は、映像表示においての LCD を凌ぐ潜在力を実現させる必要がある。このためには発光効率の向上や発光電圧の低減など有機 EL 材料の開発に期待する要素と、TFT 素子の駆動電圧低減（バックプレーンの TFT 特性の極めて高い均一性が必要）、発光層からの光取り出し効率の向上、発光画素面積の拡大（トップエミッション構造やリブレス構造など）など、バックプレーン技術と EL 層形成技術の開発要素があり両者の実現が必要となる。
・ 高画質化に関しては、上記の色再現範囲の拡大と画素密度の向上による高精細化が必要になる。ここでは、有機 EL 層の形成プロセス・設備と、更なる材料開発が重要要素となっている。

注[3] NTSC 比：色の再現範囲を示す値。色度図において色再現できる範囲の面積を NTSC（National Television System Committee）規格で定められた色度域の面積で割った比。

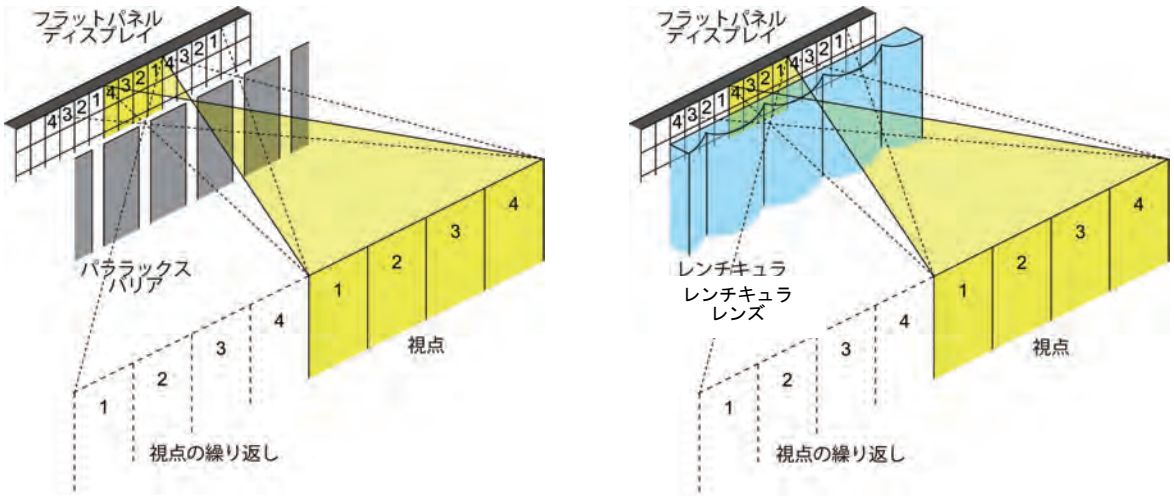
6-1-3.立体ディスプレイ

（１）技術の現状

パーソナル／モバイルユースの立体ディスプレイとしては、立体メガネをかけて使用することの煩わしさから、メガネなし立体ディスプレイが主に用いられる。画面サイズが３～４型程度で携帯電話、ゲーム、PDA などに用いられるもの、画面サイズが７型程度で小型ノート PC などに用いられるものが存在する。他に、バーチャルリアリティ用途で、ヘッドマウント型も用いられる。

パーソナル／モバイルユースの立体ディスプレイは、ヘッドマウント型以外では薄型軽量が好まれるため、フラットパネル型の構成方法が主に用いられる。これは、高精細なフラットパネルディスプレイに偏向光学素子アレイを組み合わせた構成方法である。偏向光学素子アレイとしてパララックスバリアとレンチキュラシートを用いる方式があり、それぞれ、パララックスバリア方式、レンチキュラ方式と呼ばれている。

パララックスバリア方式を図 5-10(a)に示す。スリットアレイ（複数のスリット）により、フラットパネルディスプレイの色画素から発せられる光線のうち、視点位置に集まる光線だけを透過させる。視点位置によって、異なる色画素が見えることになる。このスリットアレイのことをパララックスバリアという。パララックスバリアは、スリット間隔に高い作製精度が要求されるため、リソグラフフィ法で作製されることが多い。ただし、パララックスバリアは遮光マスクであるため、光の利用効率は低い。そのため、フラットパネルディスプレイのバックライトの光強度を増加させることが行われるが、その分だけ消費電力が増加することになる。



(a) パララックスバリア方式　　(b) レチキュラ方式

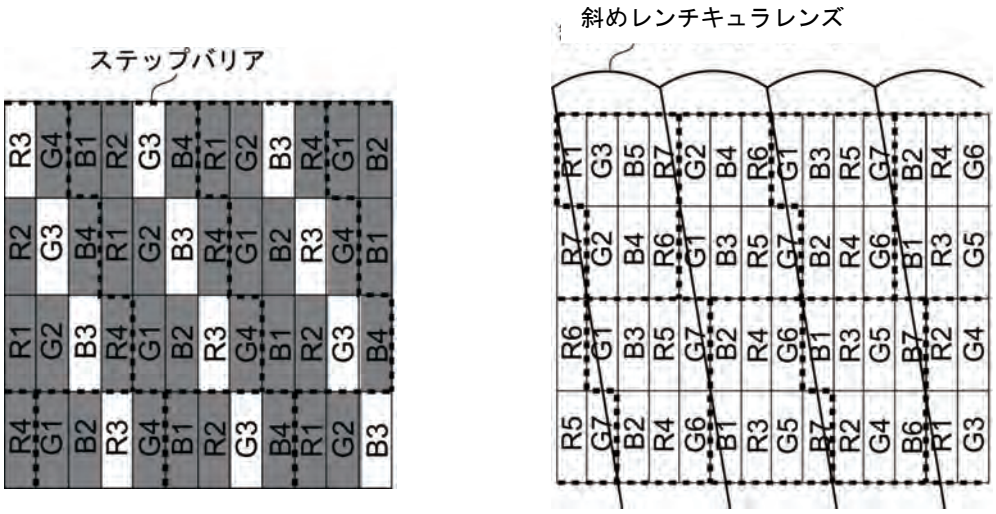
図 5-10　フラットパネル型の立体ディスプレイの構成方法

レンチキュラ方式を図 5-10(b)に示す。色画素から発せられる光線の偏向に１次元レンズであるシリンドリカルレンズ（円筒面レンズ）を用いる。１次元レンズアレイのことをレンチキュラレンズという。レンチキュラ方式では、光の損失が小さく、光の利用効率は高い。ただし、レンチキュラレンズは通常は樹脂で作製されるため、湿度や温度などの環境による形状変化が大きいことが問題である。

以上の説明で、視点数を２としたものが２眼式立体表示であり、視点数を３以上にしたものが多眼式である。

パララックスバリア方式でもレンチキュラ方式でも、図 5-10 に示すように、色画素の直近のスリットやシリンドリカルレンズに隣接するスリットやシリンドリカルレンズで偏向された光線が、繰り返しの視点群を発生する。この繰り返しの視点群を上手く使うと、観察者数を増やすことができる。ただし、繰り返し視点群との境界部で観察すると、右目と左目に視差の反転した画像が見えることになる。これを逆立体視状態といい、奥行きが反転した不自然な立体像が観察される。ただし、３～４型程度の小型の表示画面の場合は、観察者が無意識のうちに両眼の中心にディスプレイを置いてみることが多いため、逆立体視が生じ難い。しかし、ディスプレイを手に持って見る場合には、ディスプレイの傾きにより、逆立体視状態になることが考えられる。

視点数を増やし多視点化すると、図 5-10 の原理図からわかるように、立体表示した場合の水平解像度のみが減少する。スリット構造を傾けたステップバリアや、斜めレンチキュラを用いると、解像度の低下を水平方向と垂直方向にバランス良く割り振ることができるため、最近は良く用いられている（図 5-11）。



(a) ステップバリア方式　　(b) 斜めレンチキュラ方式

図 5-11　ステップバリア方式と斜めレンチキュラ方式（視点数４の例）

現状では、解像度の低下を嫌い、右目用と左目用の２つの視点を空間に発生する２眼式が主流である。しかし、観察位置の限定が大きいことや、観察位置が両眼間隔（平均で 65 ㎜）だけずれると逆立体視状態になるなどの問題がある。そのため、最近では、視点数を増やした多眼式立体ディスプレイが開発されるようになっている。2.57 型で 8 眼や 16 眼のものや、7.2 型で 30 指向性（視点位置ではなく、光線の方向でサンプリング）のものの報告がある。

また、立体表示と２次元表示が切り替え可能なディスプレイも開発されている。立体化のために、パララックスバリアやレンチキュラシートを取り付けると、通常は、表示解像度が低下するが、アクティブなパララックスバリアやレンチキュラシートを用いることで、２次元表示時の解像度低下をなくすことができる。パララックスバリアとして液晶パネルを用い、これにパララックスバリアを表示すると立体表示が行え、何も表示しないと解像度低下のない２次元表示が行える。レンチキュラシートでは、液晶の複屈折性を利用して、電圧により屈折率を切り替えてレンズ効果をオンオフすることで、同様に立体表示と２次元表示を切り替える方法が用いられる。

ヘッドマウント型では、小型な投影光学系が必要であるため、３板式プロジェクタ光学系は用いることが現実的でないので、小型なフルカラーパネルが用いられる。そのため、現状の解像度は VGA（640×480）程度である。

（２）今後の見通しと課題

過去に携帯電話のディスプレイに２眼式立体ディスプレイが導入されているが、なかなか普及していない。その要因のひとつに、観察位置の制限や逆立体視による見づらさの問題がある。また、パーソナル／モバイルユースでは一般に観察距離が短いため、調節と輻輳の不一致[注4)]による眼精疲労に関する懸念がある。これらの問題点を解決するのが多眼化である。多眼化により、観察位置の制限が少なくなり、逆立体視も生じにくくなる。さらに、視点数を 25 程度まで増し視点間隔を小さくすると、眼の被写界深度（ピントがあっている領域の広さ）が拡大し、この拡大された被写界深度内に立体像を表示することで、眼精疲労が生じ難くなると言われている。以上の理由から、パーソナル／モバイルユースでも、今後は多眼化が進むと予想される。ただし、立体化した場合でもユーザは２次元表示と同等な解像度を求めることが予想されるので、画面サイズが３～４型程度のものでは VGA 程度、７型程度のものでは SVGA（800×600）程度の解像度が必要になると予想される。

ヘッドマウント型では、臨場感を増すためにより大画面化と広視域化が図られることが予想されるが、この場合、表示解像度を高める必要がある。

注4　調節と輻輳（ふくそう）の不一致：ここでいう調節とは右眼と左眼のそれぞれが視覚対象に焦点を合わせる位置（主にディスプレイ面）を意味し、輻輳とは画像を一カ所に集めて立体像を再生する位置を意味する。自然視では、両者が一致するように視覚運動が行われるが、立体視では一致しないことがある。

（3）キーテクノロジー

フラットパネル型では、偏向光学素子アレイと組み合わせて用いるフラットパネルディスプレイに必要な解像度は、視点数と立体表示時の解像度の積で与えられる。そのため、多眼化と高解像度向上を同時に実現するためには、フラットパネルディスプレイに解像度の向上が要求される。モバイル／パーソナルユースの場合は、画面サイズを大きくすることはできないので、画素密度を高める必要がある。ただし、画素密度向上には限界があるので、将来的には、時間多重表示などの技術を導入して、実質的に画素密度を向上させる技術も重要になると考える。

レンチキュラシートに関しては、環境変化に強い低膨張率材料の開発と導入が重要になる。さらに、立体解像度向上のためにはレンズピッチの縮小が必要であるが、この場合はレンズ厚が 1 ㎜以下になることが予想されるので、フラットパネルディスプレイのガラス基板への一体形成が必要になることが予想される。

ヘッドマウント型では、小型な光学系で高解像度な画像表示を実現するために、１枚のディスプレイパネルで高解像度なフルカラー表示を実現できるカラーシーケンシャル表示が導入されることが予想される。

立体表示では、従来の２次元表示とは異なり、視覚疲労等の映像が人体に与える悪影響の問題があるため、将来の幅広い普及のためには安全性の確保が必要である。現在は、業界団体が作成した安全基準が存在するが、今後は国を中心とした研究や安全基準作りの取り組みが重要になると考える。

6-1-4.電子ペーパー

（１）技術の現状

電子化とネットワークによって我々の生活は大きく変化してきている。特に最近は携帯電話および無線ネットワークインフラの発達により、ユビキタスな環境が急速に普及している。しかしながら唯一昔ながらの形態でのこっているメディアが紙である。紙はもっとも古い情報メディアであるが、深く現代人の生活に浸透し、その一部となっているため、電子化による置き換えは容易ではない。

パーソナル／モバイルユースの電子ペーパー技術の現状を考察すると、単に情報を得るという観点に立てば、携帯電話と PC という既に十分普及し、ネットワークも殆ど完成されたメディアで十分とも考えられる。そして、確実に人々の生活は紙をつかった情報収集から、ネットワークを通じてディスプレイによって情報を得る形に推移しつつある。だが、多くの人が何かを読む場合、携帯電話や PC のディスプレイより紙の方がはるかに読み心地よいと感じることも事実である。実際電車などの交通機関の中では、紙メディアで何かを読んでいる人と同じくらい携帯電話を見つめている人が見受けられるが、それは何かを読んでいる場合より、ゲームやメールなどインタラクティブな使用をしている場合が多い。ネットワークからコンテンツを取得して蓄え、好きなときに読むことのできる電子メディアというアイデアは古く、それを具現化した商品が電子読書端末である。残念ながら、現時点では紙と同等の使用感には程遠く、PDA や小型の PC に近い物となっている。ディスプレイ技術として、電子読書端末に使用されている、あるいは使用されたことのあるものは、反射型 LCD、コレステリック型 LCD、などの LCD 技術を用いたもの、マイクロカプセル型電気泳動ディスプレイが挙げられる。日本では 2004 年にコレステリック型ディスプレイとマイクロカプセル型電気泳動ディスプレイを用いた電子ブックが商品化されたが、普及にはいたらなかった。一方米国では 2006 年からマイクロカプセル型電気泳動ディスプレイをもいいた電子ブックが発売され、大きく市場を伸ばしつつある。

また、新聞の電子配信用の端末として電子ブック型の端末を使う提案もいくつかなされてきている。使用されている技術は、上記のマイクロカプセル型の電気泳動ディスプレイを用いたものである。

電子ペーパーという分類に入るディスプレイの大きな特徴は、フレキシビリティをもっていること、が期待されている。そのため、既存のディスプレイでは応用が難しい湾曲面や、製品のデザインの一部としてフレキシビリティを使用したものも商品化がなされている。例としては腕時計、大型時計などである。

さらに動画も表示でき、かつ非常に薄く、軽く、丈夫なディスプレイが実現されれば、現在の携帯情報機器（携帯電話やノート PC、PDA）の形態を大きく変化させることも期待できる。ただし、このようなディスプレイを実現するハードルは高く、実現には相当の時間を必要とするであろうと思われ、現状ではこれといった技術はまだ存在していない。

（2）今後の見通しと課題

パーソナル／モバイルユースの電子ペーパーについては、いくつもの技術が提案されているが、現在主流になりつつある技術は、マイクロカプセル型電気泳動ディスプレイ、粉流体ディスプレイ、コレステリック型液晶ディスプレイなどである。図 5-12 に粉流体ディスプレイ、図 5-13 にマイクロカプセル型電気泳動ディスプレイの原理図を示す。どちらのディスプレイも白と黒の粒子を電圧によって引き寄せて、コントラストを作り出す。図 5-14 にコレステリック型 LCD の原理図を示す。加える電圧パルスにより液晶分子の配向方向を変化させ、そりによる光の散乱と透過によりコントラストを作り出す。それぞれ異なった課題をもっているが、コレステリック液晶タイプは電気泳動などの粒子を用いるタイプと比較し、反射率、コントラストなどに課題がある。マイクロカプセル型電気泳動ディスプレイでは、アクティブマトリックス駆動が必要で、コストが高い。また粉流体ディスプレイおよびコレステリック液晶ではパッシブマトリックス駆動が可能であるが、駆動電圧が高く携帯型に適用が困難などの問題点をもっている。

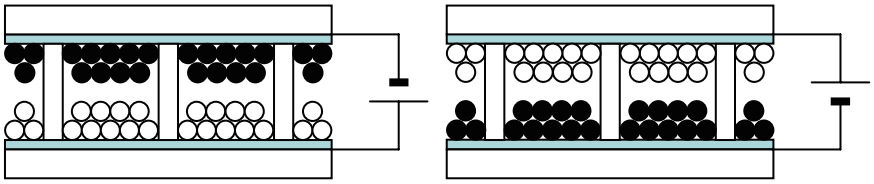


図 5-12　粉流体ディスプレイ原理

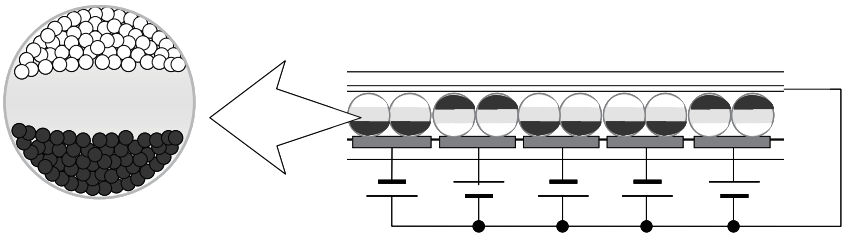


図 5-13　マイクロカプセル型電気泳動ディスプレイ原理

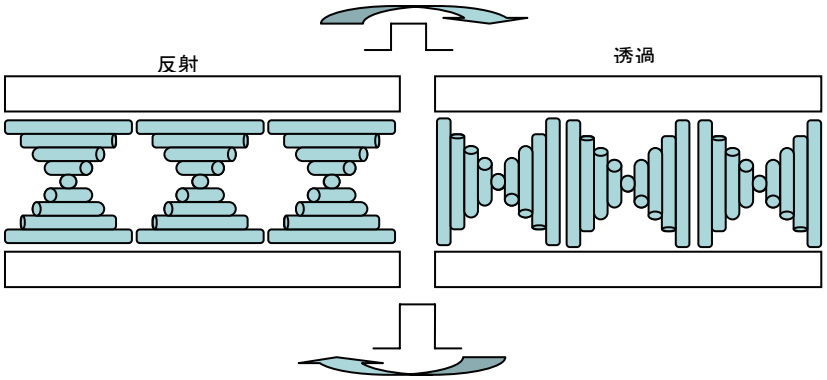


図 5-14　コレステリック液晶ディスプレイ原理

まだ、製品化にはいたっていないが、酸化還元反応を用いて銀粒子の析出と溶解によるコントラストを作り出す方法（エレクトロデポジション）、あるいは色素の着色と脱色を制御する（エレクトロクロミックディスプレイ）、といった化学反応型のディスプレイも提案されている。図 5-15 にエレクトロディポジションディスプレイの原理図を示す。これらの化学反応型の特徴は、非常に低い駆動電圧で書き換えが可能なことと、非常に高い白反射率とコントラストを得られることである。課題は、反応の繰り返しによる劣化があることと、書き込み時の電流が比較的必要なことである。

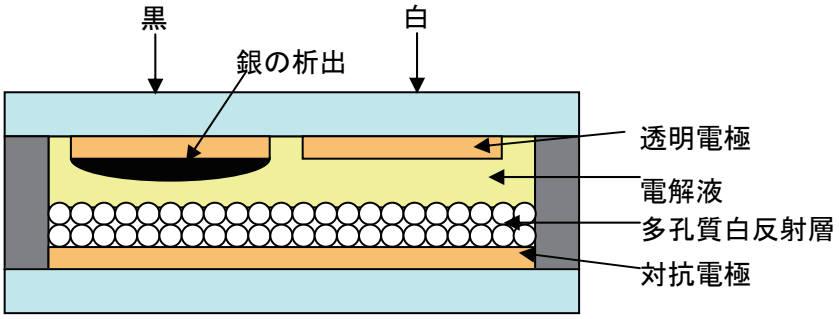


図 5-15　エレクトロデポジションを用いたディスプレイ

共通の課題として、前項の「技術の現状」で述べたように、紙の機能をもった電子メディアとなるためには、少なくとも紙に非常に近い使用感が求められる。多くの人が PC で長いドキュメントを読むことに不満をもち、資源の無駄と知りつつプリンタを用いてあえて紙に印刷する行動をとっている。高い使用感が求められないのであれば、価格の安い反射型 LCD を用いた電子ペーパーメディアが普及しているはずである。ここでいう紙の使用感とは、視認性（反射率、コントラスト、解像度）と薄さ、軽さ、しなやかさなどを総称したものである。もし紙の視認性が達成されなければ、電子ペーパーメディアの普及はかなり限られたものとなる。このような理由から、現在の電子ペーパーディスプレイはガラス基板を用いているが、将来に向けて軽くしなやかなプラスチックを基板として用いるための開発が盛んになされている。しかしながら、プラスチックあるいは金属箔などを用いて TFT をその上に形成する技術は発表されているが、実使用に耐えうる信頼性、コストを達成するまでには至っていない。

更に、薄く、軽く、しなやかな電子ペーパーを達成するには、ディスプレイ部のみでなく、電力、コントロール、インタフェース、メモリなど製品全体として軽薄化を達成しつつ、さらに十分な信頼性を達成するという高いハードルを越える必要がある。

加えて、課題として重要な点はカラー化である。オフィスや家庭での印刷も、写真画質が容易に得られる今日、紙の機能を取り込む電子ペーパーメディアとしてカラーが十分に表現できなければ、その応用範囲は非常に限られたものとなるであろう。現在、電子ペーパーとして近場で開発が期待されているディスプレイは、いずれも消費エネルギーの低さと、電力を用いずに画像を

維持するメモリ性をもっている反射型ディスプレイである。しかし反射型ディスプレイは原理的に自発光型ディスプレイに比較して色を表現することが難しい。紙の印刷では、何色ものインクを使うことができるし、デジタル印刷では微小なインクを紙の上で直接混色することにより、広い色表現が可能であるが、反射ディスプレイでは限られた色をあらかじめ定められたピクセルで表し、かつディスプレイに入射した光のみを利用することしかできないため、コントラストにおいて著しく制限をうけることとなる。

将来、動画も表現できるようにすることを考えた場合は、現在主流の反射型ディスプレイとは別に、消費電力を非常に低減した自発光型のディスプレイ（LCD もしくは OLED）と、やはり非常に薄くしなやかな電池が必要になるかもしれない。また、現在の携帯電話や PC と電子ペーパーが融合して、あらたな商品群を作り上げる可能性も考えられる。

（3）キーテクノロジー

パーソナルからパブリックユースまで共通で、いずれの方式にせよ材料技術が今後ともキーとなる。材料技術のポイントは例としては、白反射率の向上、高コントラスト、駆動電力の低減、メモリ性能の改善、残像の低減、低コスト化などである。とくに材料ではカラーをどのように表現していくかという点に、今後の技術開発の成否がかかっている。

パネル技術として、駆動回路、とくにアクティブマトリックス駆動をプラスチックフィルムなどのガラスでない基板上に歩留よく、低コストで形成する技術が重要である。あるいは材料開発に依存するが、ある程度低い駆動電圧でパッシブ駆動が可能になれば、あえて TFT などの素子をプラスチック上に形成する必要はなくなる。有機 TFT などの非シリコン系の TFT が印刷法などで容易にプラスチック基板上に形成できるようになれば、アクティブであるかパッシブであるかは問題ではなくなる。その先はロール・ツー・ロールなどの超低コストの量産方法の確立によって、さらに電子ペーパーの普及にはずみがつくであろう。

前項の「今後の見通しと課題」で述べたように電子ペーパー商品はディスプレイパネルのみでなく、電源を含むすべてのエレクトロニクスを非常に薄い形のなかに実装する必要がある。そのために、携帯電話の実装技術とは異なる新たな実装技術、電源技術、バッテリーなどが出揃ってこなければならない。

電子ペーパーに用いるコンテンツとして新聞、雑誌、コミックなどの現在の出版物と近いものが期待されている。ハードウェアの技術とは異なるが、音楽や映像コンテンツと同じく、それを配布する方法が標準化されてこなければならない。

6-1-5.プロジェクションディスプレイ

（１）技術の現状

現在、プロジェクションディスプレイ市場のほとんどがホーム／オフィス／パブリックユースであり、パーソナル／モバイルユースという用途は定着していない。従来からある小型のモバイルプロジェクターもオフィスユースに含まれる。しかし、最近 LED を光源とする超小型プロジェクタが台頭し、パーソナル／モバイルユースとして市場開拓がされつつある。本項ではパーソナル／モバイルユースの定義として、電池駆動可能で重さ 1kg 以下のプロジェクションディスプレイを指すことにする。

その先鞭を切ったのは 2005 年から投入された LED 光源のポケットプロジェクターである。当初の製品は暗く高価格であったため普及には至っていないが、2008 年には明るさ 150 lm（ルーメン）まで達している。一方、明るさは 7～10 lm と暗いが、携帯性を追求した重さ 100g 台の超小型プロジェクタが商品化された。更には、容積 10cc 程度のプロジェクションモジュールを内蔵した携帯電話も 2009 年発売されるに至った。これら光学系にはライトバルブ（LV：Light Valve、光変調素子）として、TI 社(Texas Instruments Inc.)が専用に開発した DLP(Digital Light Processing)や Himax 社他の LCOS（Liquid Crystal on Silicon：反射型液晶の技術）等が使われている。現状の解像度は HVGA（480×320）である。LCOS はカラーフィルターを有した単板方式である。DLP は単板カラーシーケンシャル駆動で、LED 光源の場合、回転カラーフィルターが不要になる等、色制御面でのメリットがある。

（２）今後の見通しと課題

パーソナル／モバイルユースのプロジェクタには別体型と組み込み型とがあり、別体型は高輝度化へ、組み込み型はより小型化・低電力化のニーズが高まると考えられる。また、解像度は現状の HVGA レベルから FHD（1920×1080）に向け進むと考えられる。そのためには光源の高輝度化とライトバルブの高密度化が重要である。LCOS は高解像度化に優位なデバイスであり、高速応答の強誘電性液晶では、DLP 同様に単板カラーシーケンシャル駆動も可能となる。DLP は 2009 年に超小型プロジェクタ専用チップセットの WVGA（854×480）化が予定されている。光源として、現状 LED が使われているが、レーザーを用いる技術も開発されている。その一つが、MEMS ミラーを用いて直接描画する MEMS 走査型プロジェクション技術である。このためのレーザー光源は階調表現のための高速な周波数応答性が要求される。特に緑色レーザーは、SHG（Second Harmonic Generation：第二高調波発生）を用いて赤外光から周波数変換するため、SHG を含めた効率や応答性が課題となる。別の描画方式としてレーザーホログラフィックプロジェクション技術が開発されている。ホログラムを表示した LCOS にレーザー光を照射し、位相変調されたレーザー光の回折により像が形成される。実時間でホログラムを生成するための高速演算処理が技術の要である。これらの新しいプロジェクション技術は、従来のライトバルブ方式に比べ、電力-光変換効率[lm/W]が良い点（光の LV による遮断がないため）やフォーカスフリー（レーザー光が狭ビームの

ため）等、モバイルユースに適した技術と言えよう。しかしながら、高輝度化においては眼の安全性が課題となる。特に MEMS 走査型プロジェクションのように直接描画では規制が厳しい。

組み込み型の次世代目標として容積 5cc 以下、電力 1W で 20 lm の明るさが謳われている。2012 年頃から携帯電話組み込み型プロジェクションディスプレイが急速に市場拡大すると予測されているが、低コスト化が絶対必要条件であることは言うまでもない。

（3）キーテクノロジー

小型・低コスト化が必須のパーソナル／モバイルユースにおいてキーとなるのは光源技術である。その有力候補が LED とレーザーである。LED は超高圧水銀ランプに比べ輝度不足であるが、電力ー光変換効率[lm/W]は 3 年で 1.5 倍向上すると言われており、超高圧水銀ランプの 70 lm/W を凌ぐ(白色 LED では 100 lm/W を越している)のも間近である。プロジェクション用途に限らず、高輝度 LED 産業全体の技術と市場が支えとなる。レーザーは前述した新方式の光学系が実現可能であり、組み込み型プロジェクタへの適応性が高い。必要な光出力は数百 mw で赤と青は周波数が異なるものの、DVD 等のストレージ用 LD 技術が活きる。緑色レーザーは当面、SHG の波長変換技術に拠る必要があり、システム全体の WPE（Wall　Plug Efficiency：電力変換効率）向上が重要である。

光源自体の高効率化、高輝度化を達成する上で、光学系を含めた冷却技術もキーとなる。組み込み型プロジェクタでは、冷却ファンは使用できず、スペースも制約される。実装上の熱抵抗軽減や熱検出・制御システムに工夫が求められる。

6-2.ホーム／オフィス／パブリックユース

6-2-1.液晶ディスプレイ

（１）技術の現状

現在量産されている大型 FPD は、技術的に液晶ディスプレイ（LCD）とプラズマディスプレイ（PDP）に大別される。PDP は画素が放電空間から構成されることから小型より大型に向くため、カラーディスプレイを目指した開発は大型ディスプレイ用からスタートした。一方、液晶の駆動には電流を必要とせず、低い電圧でも大きな光学的位相差を得ることができるため、アモルファスシリコン TFT を用いて駆動することができた。アモルファスシリコン TFT は、大面積にわたって均一に作製することができ、高精細化、大面積化に向けて、プロセス技術が確立されて行き、マザーガラス、量産装置の充実が図られた。TFT 駆動 LCD は、小型ノートパソコンのディスプレイに搭載されて本格的に市場が立ち上がり、デスクトップパソコン用モニター、TV 用ディスプレイ、デジタルサイネージなどアプリケーションの拡がりに伴って画面サイズ及び画素数の拡大が進み、据置型ディスプレイとして広く採用されている。このように LCD は、開発の歴史から見ても、精細度を上げることについて比較的対応し易いと言える。例えば、2006 年にブラウン管（CRT）テレビの最大サイズ（36 型）と同クラスの LCD テレビ（37 型）において、フルハイビジョン（フルハイデフィニション）規格のテレビが市販されている。

LCD は薄さ・軽さなどから CRT に比べて取り扱い易く、自然でリアルな表現を求めて大型化、高画質化が進んだ結果、40 型クラス以上の大型フルハイビジョン液晶テレビが普及しつつある。これまで液晶が苦手とされてきたスポーツなど動きの早い映像には、倍速駆動（120Hz）、4 倍速駆動（240Hz）による鮮明な動画表示で対応し、カタログなどの情報を正確に表示するための広視野角や高コントラストは、部材や表示モードの改善により進展している。

大型液晶ディスプレイの画面サイズは、主に液晶パネル製造工場のガラス基板のサイズで制限される。現在大型液晶パネル製造工場は、第 6 世代（6G）、第 7 世代（7G）、第 8 世代（8G）が稼働中であり、2008 年現在で製品化されている最大画面サイズは、108 型（対角 274cm）である。

（２）今後の見通しと課題

今後の据置型 LCD の技術開発は、更なる大画面高精細化や放送信号を超える高画質化の方向と、低コスト化の方向へ向かうと考えられる。大画面化のためには、画面の隅々までの均一性が要求される。単純に大画面化するだけであれば、消費電力量も増大する。CO_2 排出量削減の観点から、消費電力を低減し、且つ高画質・大画面化する技術が求められる。2015 年に試験放送が開始される予定のスーパーハイビジョン放送などに向けた高精細化のためには、TFT の高性能化すなわち高移動度化が必要である。さらに配線の低抵抗化技術、画素容量低減技術が求められる。放送信号を超える高画質化については、CCFL（Cold Cathode Fluorescent Lamp、冷陰極管）バックライトの高色純度化、LED バックライト、カラーフィルターの高演色性などによる高い色再現性や、これまでにない臨場感をもたらす技術が必要になる。

低コスト化・低消費電力化に対しては、偏光板やバックライトに代表される光学部材の機能統合、一括形成、局所調光制御技術などが求められる。

（3）キーテクノロジー

大画面均質性のためには、光学部材の大面積化に起因する不均一を補償し、製造マージンを拡大する光学設計技術が必要となり、かつ高輝度 LED の色調均質化、及び大規模マウント技術による大型低消費電力バックライトシステム技術が必要である。

TFT の高移動度化のためには、製造プロセスを現状のアモルファスシリコンから低温ポリシリコンへ変更するというパーソナル／モバイルユースと同様の方法もあるが、大型ガラス基板を使用するホーム／オフィス／パブリックユースにおいては、ナノクリスタルシリコン TFT や酸化物系 TFT が有効と考えられる。

配線の低抵抗化には銅配線、将来的には銀配線・光配線などを使いこなす技術が必須である。画素の電気容量を小さくするために、低容量絶縁材料および低容量 TFT 設計が必要となる。

高色再現性については、カラーフィルターのナノ粒子顔料化及び高演色性設計と大型バックライトシステム技術を組み合わせ、最適化することにより、自然界に存在するあらゆる色を加工することなく忠実に再現することが可能となる。

導光板、拡散板、偏光板といった光学シート類を一体あるいは一括成型することによりバックライトの光を利用する効率が向上し、バックライトの使用数を減らすことも出来るため、その両方の効果で低コスト・低消費電力化が計られる。

またパネル製造工場の基板サイズを、6G、7G、8G、10G へと拡大することで、コスト競争力が増すことが明らかであり、製造工場のマザーガラス基板の拡大競争は止まらないと考えられる。しかし、大型化路線以外にも、印刷プロセスやさらに進んだロール・ツー・ロールプロセスなど、設備投資に対する生産性を飛躍的に向上させる超大型基板用の革新的プロセス技術の開発が今後必要になると考えられる。

6-2-2.プラズマディスプレイ

（１）技術の現状

プラズマディスプレイ（PDP）は、視野角の問題がなく高速応答で、大画面で高画質の動画表示を特徴としている。32 型から 103 型までのサイズバリエーションと SD(640×480、VGA クラス)から FHD（1920×1080）までの精細度のディスプレイとして、主にテレビ用途に用いられている[注5)]。

現在の PDP は、1966 年に米国イリノイ大学で発明された AC 型 PDP が元になり、1993 年に富士通㈱から発表された面放電３電極タイプの 21 型 VGA カラーPDP で、ほぼ完成された現在の形状となった。駆動には高速で安定な駆動のできる ADS 法(Address- Display-period Separation method)が開発され、これも現在の駆動法の基礎となっている。

PDP は、ガス放電を用いた自発光の表示デバイスで、放電ガスには、Ne-Xe（ネオンとキセノンの混合）が用いられ、場合によっては He も添加される。実用化当初の PDP では Xe 濃度が 3%から 5%だったが、現在では高発光効率の 10%から 15%のものが用いられるようになってきている。構造は、前面板に平行に配置された表示電極が誘電体に覆われた AC 型で、前面板の面上に配置された面放電構造を取っている。表示の切り替えは背面板に直行して配置されたアドレス電極と表示電極の片側との放電で行われ、１セル（放電の制御単位で、RGB それぞれのサブピクセルに相当）当たり３電極で構成される。セル構造を図 5-16 に示す。最新のセル構造では効率や駆動特性の向上のため図 5-17 に示すように、改善が加えられている。

駆動に用いられる ADS 法では、全面放電を行うリセットの後、画素の on-off を制御するアドレス期間と、表示電極間の放電で発光を行う表示期間が時間的に分離されている。

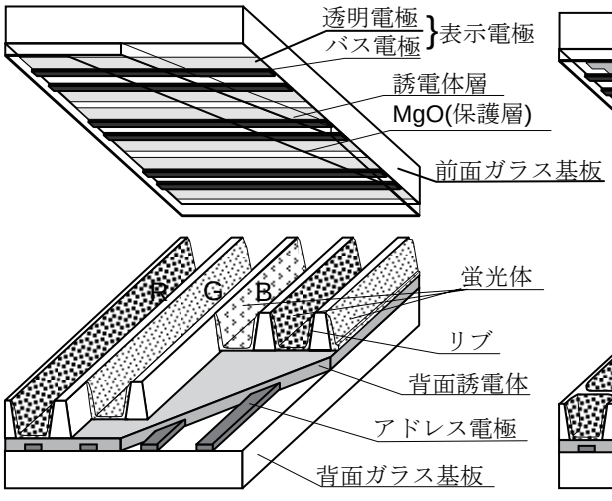


図 5-16　PDP の基本的なセル構造

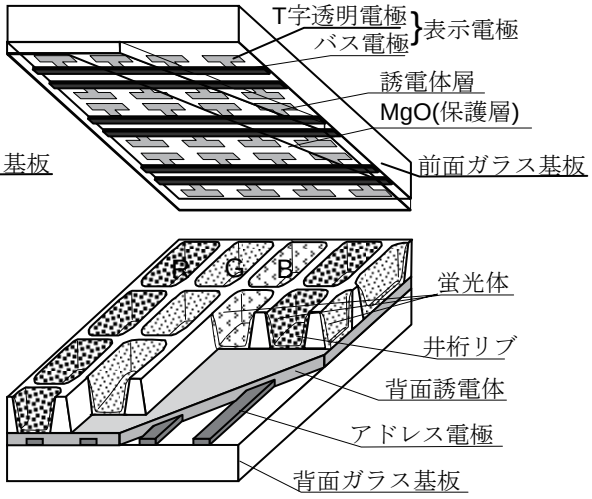


図 5-17　最新の PDP のセル構造の例

注5 試作段階では、150 型（単板ディスプレイとしては世界最大サイズ）や解像度 4k×2k（スーパーハイビジョン）のものが製作されている。

これらを基礎として、発光効率向上による輝度向上と消費電力の低減、より一層の高速化による階調表示性能向上と動画表示性能の画期的な向上や高解像度表示、微弱放電の制御技術の進歩によるコントラスト向上と黒輝度の低減などが行われ、現在の高画質が実現された。

PDP テレビの年間消費電力（テレビ受信をモデルとした年間の消費電力の指針）は、毎年 2 桁（%）台の改善がなされている。現状では 50 型 HD で 300 kWh/年弱、50 型 FHD では 400 kWh/年強となっている。HD クラスでは液晶テレビとそん色ないレベルとなっており、FHD での低消費電力化も急激に進んでいる。

コントラスト比[注6]では、30,000：1 以上のものが製品化され、黒輝度ゼロ（コントラスト比無限大）の試作展示も行われた。これにあわせて、低輝度の階調性能（階調ステップの微細化）も行われ、黒の表現力が大幅に改善された。

PDP の階調表示は、発光回数制御で行われており、原理的に他のディスプレイデバイスに比べリニアリティーと再現性に優れている。

PDP の得意とする動画表示では、現状のテレビとして最高の動画解像度 1080 本（4 倍速の LCD を超えるレベル）のものが製品化され、静止画と動画での解像度変化の少ないディスプレイとして優位を示している。

輝度寿命と焼きつきについては一時問題とされたが、現状では寿命は液晶を超え、焼きつきも実用上問題にならないレベルまで改善されている。

（2）今後の見通しと課題

現在ディスプレイに求められているものには、環境性能としての低消費電力化や製造時の省資源や省エネルギー化、高画質のデジタル放送に対応した大画面化と高画質化、価格競争の激化に対応する低コスト化、将来のデジタルシネマやスーパーハイビジョン（Super HV）に向けた大画面化と高精細化、ようやく本格普及が期待できるようになってきた３Ｄ表示、デジタルサイネージの拡大にともなう公衆表示性能の向上などが挙げられる。

PDP での一番の課題は、低消費電力と低コスト化となっている。低消費電力化では、発光効率の向上、駆動時の無効電力の削減が挙げられる。発光効率の向上には、放電ガスの高 Xe 濃度化（Xe 分圧の増大）とより高発光効率のセル構造が検討されている。Xe 分圧の増大については高電圧化、放電の不安定化、放電時間の増大が課題で、低電圧化を目指す保護層材料の二次電子放出特性の向上を MgO の成膜条件や異種元素のドーピング、MgO 以外の新たな保護層材料として CaO、SrO な

注6 コントラスト比
画像のコントラスト比は、画像の中で一番暗い部分と、一番明るい部分の輝度の比で定義される。表示デバイスのコントラスト比は、表示画面上で同時に表示できる黒（輝度入力０％）と白（輝度入力 100%）の比をデバイスの表示能力として定義され、PDP ではこの値が用いられている。液晶ディスプレイでは、全面黒表示と全面白表示の輝度比でコントラスト比を示すことが行われている。これは輝度のダイナミックレンジで、極端な場合バックライトを消灯した場合の黒表示輝度と最大電力で発光させた場合の白表示輝度の比を取ればよいことになり、デバイスの表示能力としてのコントラスト比とは異なる。

どが検討されている。放電の安定化や高速化には、最近導入されたCEL（Crystal Emissive Layer）[注7)]が有効で、CEL 材料の最適化、用途の拡大などにより、更なる性能向上が期待されている。課題としてはCELの電子放出機構が十分に解明されておらず、 最適化の方向と可能性が十分に把握できていないことが挙げられる。また、MgO 以外の CEL 材料の探索にまだ手がついていないこともある。

低電力化に関しては、無効電力削減も大きな課題となっている。PDPは200V前後の交互に極性の変わる AC パルスで駆動されるため、パネルの電気容量への充放電が無効電力となる。LC 共振回路を用いた電力回収は行われているが、パネル容量そのものの低減が必要とされている。手法としては、前面誘電体の低誘電率化が最初に挙げられ、リブなどその他部材の低誘電率化も同時に検討されている。アドレスの電力も発光に寄与しない電力なので、アドレス電圧の削減とアドレス回数の削減が必要とされる。アドレス回数を数分の 1 に削減した駆動法も一部実用化されており拡大が必要とされている。

低コスト化については、多面取りによる生産性の向上、パネル作製プロセス数の低減（複合プロセス、同時焼成などの拡大）があるが、駆動関係の電気部品、EMI 対策や反射防止、色純度向上に用いられる前面光学フィルターなどの外付け部材のコスト比重が高く、これらの低コスト化が求められる。駆動電圧の低減による低価格部材への切り替え、汎用部品の使用拡大、部品点数の削減など大きな余地が残されている。

大画面での一層の高画質化に関しては、低消費電力化と同じ取り組みが同時に高画質化技術となっている点が PDP について興味深い点で、より高い動画表示性能や階調表示性能の実現が期待されている。同時に高画質化したパネルに対応する駆動法や画像処理技術もさらに重要性を増す。

より高精細化に関しては、発光効率や駆動特性の低下が問題とされるが、4k×2kのデジタルシネマ（50型以上）やSuper HV（100型以上）は、大画面が前提とされ大画面での高精細化となるため、十分 PDP で実用化できる範囲に入っている。コンテンツの普及を見据えた開発が行われている。

３Ｄ表示については、コンテンツの普及をにらんだ開発が進められている。PDP では高速駆動を生かしたシャッターメガネとの相性が良く、開発が進められている。シャッターメガネ方式ではメガネ透過により画像輝度と周囲輝度が同時に低下するため、明度が保たれ従来の表示輝度のまま実用化でき消費電力を増大させないですむというメリットもある。課題としては蛍光体の残光によるクロストークの問題があり、より短残光の蛍光体の探索と実用化が進められている。

注7 Crystal Emissive Layer
保護層の上に塗布されるMgO結晶の層で、放電によって励起され長時間にわたって電子を放出すると説明されている。放出される電子をプライミングとして高速放電と安定な微弱放電を実現する。

（3）キーテクノロジー

上記内容を下記の図 5-18 にまとめる。材料面では、放電ガス、保護層材料、低誘電率材料、CEL（電子源材料）、材料以外では駆動法や画像処理の重要性が増す。

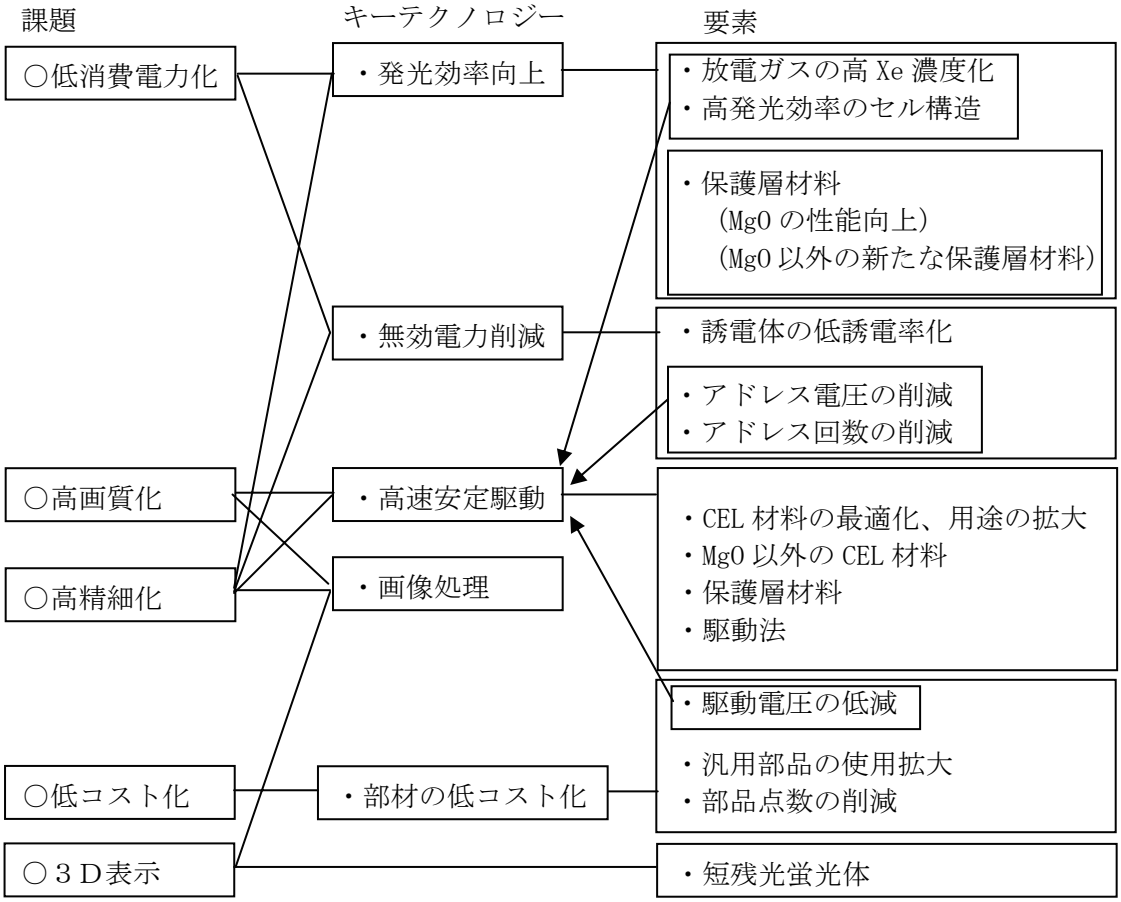


図 5-18　課題とキーテクノロジー

6-2-3.有機 EL ディスプレイ

（１）技術の現状

ホーム／オフィス／パブリックユースにおいて有機 EL ディスプレイの本格量産の開始がなされていない主たる理由は、有機 EL ディスプレイの寿命が市場の要求レベルを満足するに至っていないことが挙げられる。確かに、長時間の連続稼動がなされることが多い本用途においては、発光材料自体（特にブルー）の寿命が十分長いとはいえない状況であり、過去の有機 EL に関する各種開発プロジェクトは結果的には材料開発に関するものがほとんどであった。このような状況下で、材料メーカーは長寿命材料の開発に注力し大きな成果が得られつつある。しかしながら、その間に有機 EL ディスプレイの競合技術である液晶ディスプレイやプラズマディスプレイも大きな進化を遂げ、有機 EL ディスプレイの各種製品仕様が競合技術を上回ることが多くの点でできていない。

昨今の地球温暖化の状況を鑑みるに、ホーム／オフィス／パブリックユースにおいても、低消費電力技術の確立は非常に重要な開発要素であるが、現時点の有機 EL ディスプレイ技術では液晶ディスプレイと同等レベルの消費電力の達成が見込める程度である。液晶テレビの低消費電力化以上のスピードで有機 EL ディスプレイの低消費電力化を達成していく必要がある。

またホーム／オフィス／パブリックユースに関しては、消費電力・輝度・発光寿命・焼付き寿命などの課題に加え、大型映像デバイスゆえのサイズ起因の課題も未解決のままである。アクティブスイッチング素子としての TFT の特性均一性は有機 EL ディスプレイの発光強度の均一性に多大な影響を及ぼすが、その高均一特性を実現できる量産技術とそれを支える製造設備や製造プロセスは電流駆動の点で液晶ディスプレイ用途とは異なる特性と均一性レベルが要求される。

言葉を替えると、有機 EL デバイスの製造には、EL 発光層などの表示（発光）媒体の課題と、その発光層を駆動するための TFT 素子基板（バックプレーン）の課題に大別される。上記のように、従来は発光層の課題、とくに発光材料とインターレイヤーの課題解決に開発プロジェクトの重点が置かれてきた。バックプレーンに関しては、各企業の個別努力の範囲に位置づけられてきたが、競合技術の開発の進展に伴い改めて大きな開発テーマであるとの共通認識が確認されつつある。

以上に示した有機 EL ディスプレイの技術課題を解決できた場合には、高画質・製造コスト競争力・薄さ軽さなどの観点で他のディスプレイ技術を凌駕し得る可能性を有していることになる。このため将来展望として、ホーム／オフィス／パブリックユースほぼ全分野において有機 EL ディスプレイに置き換わる可能性も考えられる。現在のディスプレイメーカーはこのような状況の変化を見極めつつ適切な対応が求められることになると言える。

（２）今後の見通しと課題

ホーム／オフィス／パブリックユースの開発要素としては、テレビ用途に代表されるような長時間の高輝度での使用状況に耐えるために、長寿命化が重要なテーマとなる。長寿命化技術には、

発光材料自体の長寿命化と、材料への負荷低減のための高発光効率化技術や発生した光の利用効率の向上技術などが挙げられる。さらに、大面積有機 EL ディスプレイの先行競合技術とのコスト面での競争を考慮すると、有機 EL 層の形成プロセス・製造装置も生産性・再現性が十分に考慮されたものである必要がある。また後者の材料負荷低減には、バックプレーンや発光層とのインターレイヤーにも重要な開発課題がある。高輝度高画質大画面の要請に応えるためには、十分な EL 駆動電流能力と時間的安定性を有するスイッチング素子とそれらの駆動特性の極めて高いレベルでの均一性確保が必須である。

低消費電力化に関しては、有機 EL 層の形成プロセスにて、EL 材料が受けるダメージを最小限にすることが重要となる。

また、大型映像デバイスゆえのサイズ起因の課題に関しては、具体的には高輝度化とそれに伴う高駆動電流・駆動電圧の高圧化・配線抵抗・TFT 素子抵抗・大型ガラス基板での低温ポリシリコン形成・低温ポリシリコン TFT 素子特性高均一性などの課題があり、それを実現できる量産技術とそれを支える製造設備や製造プロセスも LCD や PDP とは異なる重要課題として解決されなければならない。あるいは、低温ポリシリコンとの代替技術の開発も期待される重要課題となっている。

さらに、量産商品としての普及を考慮すると製造コストに関しても、有機 EL ディスプレイは製造装置・製造プロセス・製造歩留まりなどが他の技術と競合できるレベルに至っておらず極めて重要な課題となっている。本格的な有機 EL 用途に耐えうる超高均一特性（特に低電流領域で）バックプレーンの新規開発要素は多岐に渡るため共通課題を抽出して早期に解決することが必要であろう。

また、薄型化・軽量化・連続生産によるローコスト化の解の候補の一つであるフレキシブル基板材料や製造プロセス技術の開発などにも多くの開発題目が残されている。

（3）キーテクノロジー

- 長寿命化は、材料の発光効率の改善技術と発光素子としての光利用効率改善技術の両面からの解決が必要である。
- 色再現範囲の拡大に関しても LCD が実現しつつある NTSC 比 100％の達成技術は必要である。
- 低消費電力化に関しては、透明電極成膜技術、有機 EL 層成膜技術、信頼性と耐久性の高い透明薄膜封止技術などの要素技術に関して共通基盤技術としての開発推進が必要である。
- 大画面化は、有機 EL の駆動に必要な電子移動度を有した TFT アレイを、競合技術が実現しているサイズで極めて高い均一性で実現可能なバックプレーン技術開発が必要である。
- コスト対応力強化のためには、製造プロセスの大幅なブラッシュアップが必要であり、有機 EL 層の形成（端的には印刷手法による RGB 三原色の塗り分け含め）、有機 EL 材料の塗り分け対応化（インク化等）、低電流領域でも出力ムラのない超高均一 TFT アレイ（バックプレーン）が、同時進行的に必要となる。

・ 更なるコスト低減手法としては、フレキシブル基板に印刷などの手法で TFT アレイを連続形成（ロール・ツー・ロール製法など）し、さらに発光層も連続形成するための低温連続プロセスと装置の開発が必要となる。

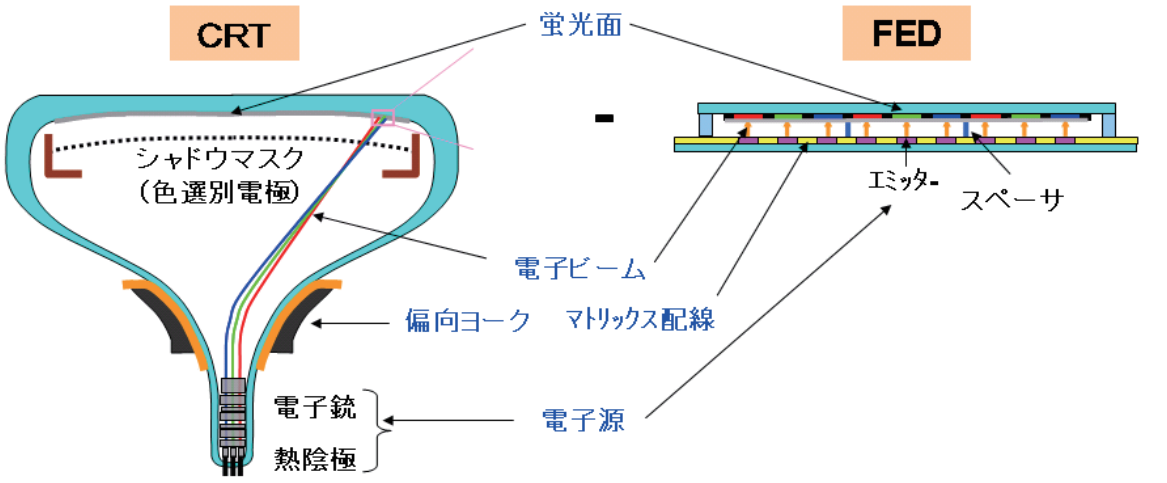
6-2-4.電界放出型ディスプレイ

（１）技術の現状

電界放出型ディスプレイ（FED：Field Emission Display）は、CRT 同様に電子ビームを蛍光体に照射することで発光させる自発光型ディスプレイである。このため、CRT の長所である、高い色再現性・優れた動画応答性・広視野角・高い暗コントラストといった特性を有している。さらに、FED では、画素ごとに電子源があるため、微細ビームにより画素単位の発光を制御できる。その為、CRT に比べ、画像が均一に高精細になる。また、ビーム軌道を制御するための偏向ヨークを必要としないため、薄型化・低消費電力化が実現できる。

FED パネルは、電子源のあるカソードプレートと蛍光体のあるアノードプレートの 2 枚の基板から構成されている。カソードプレートでは、走査配線と信号配線をマトリックス状に形成し、それぞれの配線間に電子源を配置している。アノードプレートでは、蛍光体が RGB の順に走査配線方向に配列されている。１つの電子源に、１色画素が対向している。

2009 年の FED パネルの走査線は、3 型～10 型の小型サイズでは 80～240 本、20 型以上の大型サイズでは 768～1080 本の製品が開発されており、小型サイズ製品の一部は既に商品化されている。



	CRT	FED
発光原理	蛍光体の電子線励起	
画像表示原理	電子ビーム走査	マトリックス駆動
真空維持構造	厚肉ガラスバルブ	薄板ｶﾞﾗｽ＋ｽﾍﾟｰｻ＋側壁

→ 薄型軽量化

図 5-19　CRT、FED の構造

（2）今後の見通しと課題

今後の FED の技術開発の方向としては、高画質の特長を活かしながら、更に応用分野を広げていくために、高効率化、高精細化、及び色再現性の向上が求められる。

① 高効率化

ディスプレイとしての大画面化、高精細化が求められる一方、ユーザの環境意識も高まる中では、一層の高効率化が必要になってくる。高効率化実現のためには、電子源部の構造やセルの構造を大きく進化させていく必要がある。また、蛍光体についても高輝度化が必要となる。

② 高精細化

近年の映像コンテンツの高画質化に伴い、ディスプレイも高精細化に対応する必要がある。FED の場合は、特にスペーサと電子ビームの微細化が重要であり、今後は 4k×2k、8k×4k に対応した微細化技術の開発が必要と考えられる。

③色再現性向上

ディスプレイの高精細化と共に、映像コンテンツをより忠実に表示するためには色再現性の向上も求められる。色再現性は、主にフィルターと蛍光体の特性で決まるため、材料技術を含めた継続的な技術開発が必要となる。

（3）キーテクノロジー

高効率化については、電子源部の構造と、セル構造を最適化していくことが重要であり、表示特性や信頼性、製造プロセス、コストを決める重要なファクターとなる。

高精細化については、高精細に対応する微細スペーサ開発や微細電子ビーム形成の構造開発が必須である。

色再現性の向上として、フィルター、蛍光体の改善や新規材料の開発が期待されるところである。

6-2-5.電子ペーパー

（1）技術の現状

ホーム／オフィス／パブリックユースの電子ペーパー技術の現状は、一つの応用として、ポスター、掲示版などを電子ペーパーで置き換えようという動きがある。この場合の電子化のメリットはもちろん容易に内容を書き換えられることであるが、静止画もしくはテキストのみで、書き換えも頻繁に行う必要はないため、メモリ性があり、反射型のディスプレイである電子ペーパーがふさわしいと考えられている。

技術的には、粉流体ディスプレイ（トナーディスプレイ）、マイクロカプセル型電気泳動ディスプレイ、さらにカラーのコレステリック型 LCD などが提案されている。加える電圧パルスにより液晶分子の配向方向を変化させ、そりによる光の散乱と透過によりコントラストを作り出す。

（2）今後の見通しと課題

ホーム／オフィス／パブリックユースの電子ペーパーにおいても基本的にパーソナル／モバイルユースと同様の技術が使用可能と考えられるが、ビジネス文書の処理・閲覧を目的とした A3 サイズまでのドキュメントビュワが登場することが予想される。

パブリックユースにおけるデジタルサイネージなどでは、カラー化が重要な技術課題となる。しかしカラー品質ではすでに十分に低価格化が進みつつある液晶 TV やプラズマ TV などとどのように済み分けていくかも課題であろう。

（3）キーテクノロジー

ホーム／オフィス／パブリックユースのキーテクノロジーは、6-1-4 に示したパーソナル／モバイルユースと共通である。材料技術、白反射率の向上、高コントラスト、駆動電力の低減、メモリ性能の改善、残像の低減、低コスト化、軽量化などである。

6-2-6.立体ディスプレイ

（１）技術の現状

(a) ホーム／オフィスユース

ここでは、ホーム／オフィスユースの立体ディスプレイとして、１名および数名で利用する画面サイズが 15 型から 50 型程度までの立体ディスプレイを考える。

メガネありの２眼式立体ディスプレイは、立体表示時の解像度が高いことから、設計や医療などのプロフェッショナル用途で主に用いられる。また、最近、ハリウッドを中心に制作が活発になっている立体映画を家庭で楽しむ立体ディスプレイでも、この表示方式が利用される。具体的な立体表示方式としては、偏光方式と時分割方式が用いられる。偏光方式では、ディスプレイ画面の偶数ラインと奇数ラインに互いに直交する直線偏光あるいは逆回転の円偏光を与える偏光板を取り付け、異なる偏光状態で右目用と左目用の画像を表示する。これを、対応する偏光状態を透過する偏光板を左右に配した偏光メガネをかけて観察する。この場合、画像の垂直解像度は半分に低下する。時分割方式では、ディスプレイの表示フレームレートを２倍の 120 Hz にして、右目用の画像と左目用の画像を交互に表示する。観察者は液晶シャッターメガネをかけ、画像表示に同期して右目と左目の液晶シャッターが交互に開閉する。この場合は、画像の解像度低下はない。現状で、フル HD の立体表示が実現できている。

メガネなしの２眼式立体ディスプレイは、観察位置に関する制限が大きく、また逆立体視が生じるが、特にメガネなしであることが望まれる場合、例えば顧客への説明などのオフィスユースで主に用いられる。メガネなしを実現する方法としては、6-1-3 のパーソナル／モバイルユースで述べたパララックスバリア方式とレンチキュラ方式が用いられる。この場合、立体表示時の水平解像度は半分に低下する。

多眼式立体ディスプレイは、メガネなしで観察することができ、メガネなしの２眼式に比べると視域が広く、逆立体視が生じ難い。また、運動視差が表現できる。実現方法には、パララックスバリア方式とレンチキュラ方式が用いられる。ただし、視点数分だけ立体表示時の解像度が低下する。そのため、解像度よりも見やすさや立体感を重要視する場合に用いられる。現状で、９眼のディスプレイが市販されている。

メガネなしの２眼式と多眼式の立体ディスプレイでは、立体表示時の解像度がディスプレイを構成するフラットパネルディスプレイの解像度より低下する。そのため、6-1-3 で述べたように、２次元表示と立体表示を切り替え可能にし、２次元表示時の解像度低下をなくする技術が開発されている。

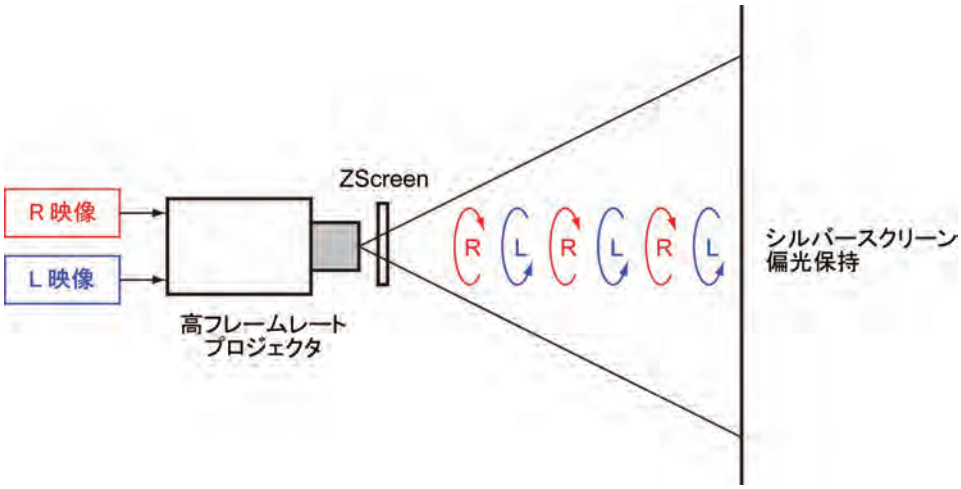
(b) パブリックユース

つぎに、パブリックユースの立体ディスプレイとして、ここでは、多人数で利用する画面サイズが 50 型程度以上の立体ディスプレイを考える。

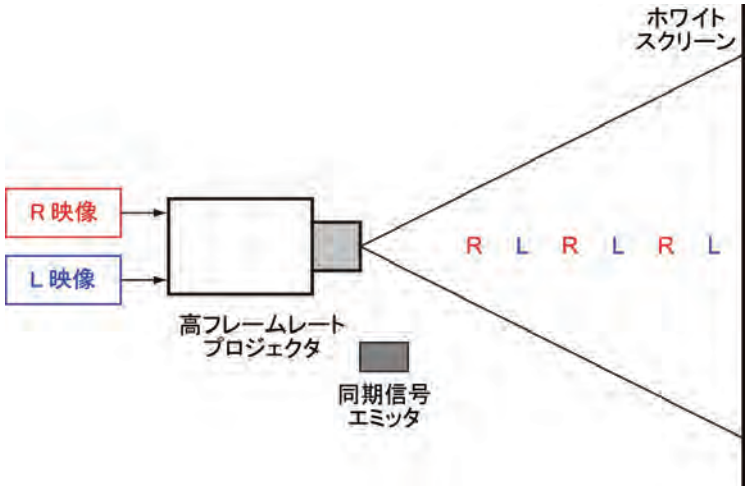
大画面メガネありの立体映像としては、近年、急激に普及が進んでいる映画館用のメガネありの２眼式立体表示装置が挙げられる。従来の２次元映画の映写機のデジタル化が進んでいること

が背景としてあり、これに利用される DLP 方式プロジェクタが高フレームレート表示可能であることを利用している。プロジェクタを２倍速駆動して、右目用の画像と左目用の画像を交互に表示する。立体表示方式には、偏光表示方式、時分割表示方式、および、波長分割方式がある。偏光方式では、図 5-20(a)に示すように、プロジェクタレンズの手前に液晶素子を置き、左右の映像に逆回転の円偏光を与え、観察者は偏光メガネを装着する。この場合、偏光メガネは安価であるため使い捨てが可能であるが、スクリーンは偏光状態を保持するシルバースクリーンに変更する必要がある。時分割表示方式では、図 5-20(b)に示すように、観察者は液晶シャッターメガネを装着する。スクリーンは従来のホワイトスクリーンのままでよいが、液晶シャッターメガネは高価であるためクリーニングして再利用する。波長分割方式では、図 5-20(c)に示すように、DLP プロジェクタのカラーフィルターの色数を２倍に増やし RGB の各色を２分割し、右目用と左目用の映像を異なる RGB の色の組み合わせで表示する。観察者は、これに対応する波長透過特性をもつ波長フィルターを左右に配したメガネを装着する。スクリーンは通常のホワイトスクリーンのままでよいが、波長フィルターを用いたメガネが高価であるため、クリーニング後に再利用される。

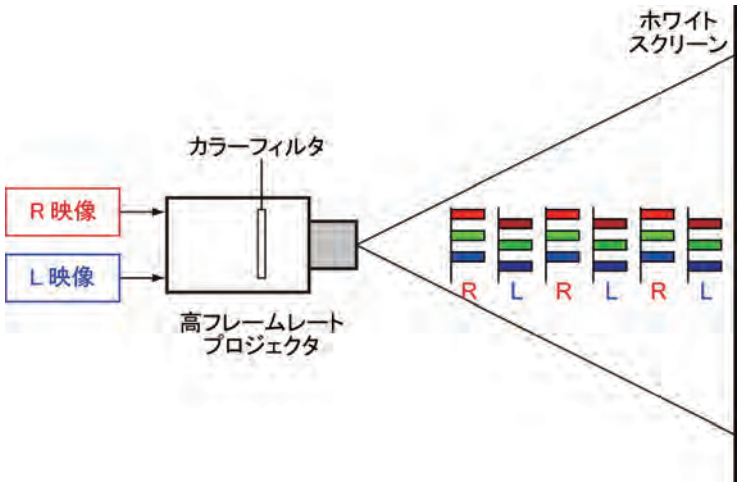
大画面メガネなしの立体ディスプレイとしては、図 5-21 に示すプロジェクタアレイを用いた表示装置がある。画面サイズが 70 インチ程度に対して 50 台程度のプロジェクタアレイで構成される表示装置が存在する。レンチキュラ方式やパララックスバリア方式では、視点数と立体表示解像度の積がフラットパネルディスプレイの解像度になるため、視点数と立体表示解像度の間にトレードオフの関係がある。しかし、プロジェクタアレイを用いる場合には、プロジェクタの解像度と台数を増やすことで、両方を同時に増加させることが可能である。そのため、システムは複雑で大型であるが、高解像度の立体映像を多人数にメガネなしで提供したい場合に用いられる。



(a) 偏光方式



(b) 時分割方式



(c) 波長分割方式

図 5-20　大画面２眼式立体表示方式

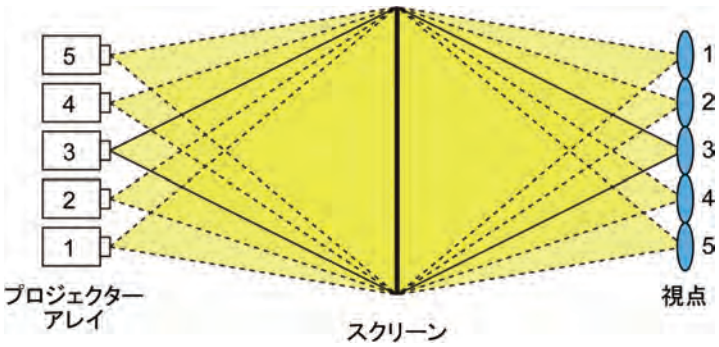


図 5-21　プロジェクタアレイを用いた立体表示装置

（2）今後の見通しと課題

(a) ホーム／オフィスユース

メガネありの２眼式立体ディスプレイで、解像度低下のない時分割方式では、現状では倍速駆動が容易なプラズマディスプレイが用いられている。今後は、液晶ディスプレイの倍速駆動を用いたものが出現すると予想される。

メガネなしの２眼式立体ディスプレイは、立体表示時の水平解像度が半分に低下することが問題点であるが、フラットパネルディスプレイの水平解像度を２倍にすることは比較的容易であるため、近い将来にこの問題は解決されると予想される。

多眼式の立体ディスプレイでは、視点数と立体表示時の解像度を向上させることが今後の課題である。視点数を 50 程度まで増加させると、視点の切り替わりが知覚できないほど滑らかな運動視差が実現できると言われている。さらに、視点数を 100 程度まで増加させると、視覚疲労等の問題が解決された人に優しい自然な立体表示が実現できると言われている。解像度については、両眼視差や運動視差があると見かけ上の解像度が向上すると言われているが、HD 解像度程度の実現が望まれる。2019 年以降は、水平視差に加えて垂直視差も有するインテグラルフォトグラフィー方式の立体ディスプレイや、さらには、理想的な立体表示方式と言われているホログラフィー方式の立体ディスプレイが出現することが予想される。

(b) パブリックユース

大画面メガネありの立体映像としては、立体映画が上映できる映画館が 2009 年末までに米国で 6,000 館に達するとの見通しがあるが、我が国においても大作の立体映画の公開に伴いその数が増加していくと予想される。

大画面メガネなしの立体ディスプレイについては、我が国において、フル HD 解像度のプロジェクタを 100 台程度用いた画面サイズが 200 型程度のシステムの開発が 2012 年を目途に進められている。

（3）キーテクノロジー

(a) ホーム・オフィスユース

メガネありの２眼式の立体表示で用いられる時分割方式の立体表示では、左右の画像を交互に表示するため、左右の画像のクロストークを低下させるために、フラットパネルディスプレイの応答速度を向上させることが求められる。プラズマディスプレイでは、高輝度な蛍光材料の開発が必要である。

多眼式の立体表示では、視点数と立体表示解像度向上のために、フラットパネルディスプレイに高い解像度が求められる。当然、スーパーハイビジョン技術の応用が行われるが、それ以上の解像度が必要になる。フラットパネルディスプレイの解像度向上には物理的な限界があることを考えると、時間多重表示により実質的に解像度を向上させる技術が必要になることが予想される。

レンチキュラ方式で用いられるレンチキュラレンズは、現状では樹脂で作製されるため、湿度

や温度といった環境による伸び縮みや反りなどの形状変化がある。特に画面サイズが大きくなると、その影響は大きくなる。そこで、今後は低膨張率材料の利用や、ガラスと樹脂のハイブリッドな構成の利用が必要になると考えられる。さらに、立体表示解像度の向上に伴い、レンチキュラレンズのレンズピッチの縮小が必要になるが、この場合、レンズの厚さを薄くする必要があるため、フラットパネルディスプレイのガラス基板との一体形成を行う技術が必要になることが予想される。また、現在の２次元テレビのように 90 度以上の視域を確保しようとすると、レンチキュラレンズを構成するシリンドリカルレンズの高 NA（Numerical Aperture：開口数）化が必要になる。

(b) パブリックユース

大画面メガネなしの立体ディスプレイでは、スクリーンとして垂直方向にのみに光を拡散させる指向性スクリーンが用いられる。現状では、大型の指向性スクリーンが存在しないため、今後は大型の指向性スクリーンの開発が必要になることが予想される。

ホーム／オフィスユースとパブリックユースのいずれの場合でも、立体映像が人体に与える視覚疲労等の影響に関する研究開発が必要である。特に、画面サイズが大きくなると、従来から２次元大型映像で問題になっている映像酔いの問題等も考える必要がある。今後は、国を中心とした立体映像の安全基準作りが重要になると考える。

6-2-7.プロジェクションディスプレイ

（１）技術の現状

プロジェクションディスプレイは、オフィス/パブリックユースとホームユースとでは要求性能が大きく異なる。オフィス/パブリックで使われるビジネス用フロントプロジェクターは、プレゼンテーションが主目的であり、明室でも十分見えるよう、2000～10,000 ルーメン（lm）程度の明るさが要求される。解像度は PC と連動し、SVGA（800×600）からフル HD（1920×1080）までである。ここでは、デジタルシネマや大ホール用のような超高輝度の大型機は含めない。これに対し、ホーム用フロントプロジェクターは、暗室での映画鑑賞等の目的から、明るさよりも高画質が重要となる。コントラストや色再現範囲、動画応答性等が主な指標である。コントラストは現在 3000:1 から 50,000:1 まで商品化されている。解像度はデジタル放送（720p、1080p）に対応する。プロジェクションディスプレイのもう一つの形態にリアプロジェクターがある。米国ではプロジェクションテレビ（PTV：Projection TV）が家庭に普及しているが、最近は液晶テレビやプラズマテレビとの競合で市場を失いつつある。

プロジェクションディスプレイの基本要素技術は、光源技術、光を映像に変調するライトバルブ（LV：Light valve）及びその駆動技術、照明系及び投射系の光学エンジン技術からなる。以下、それぞれ概説する。

光源は現在、超高圧水銀ランプが主流である。その高輝度化技術として、高電力化、短アーク化、サブリフレクタ、多灯化等が行われている。短アーク化とはランプの電極間ギャップを短くする事で、短いほど光利用効率が向上するが、高電力化や長寿命化とは相反する。サブリフレクタは発光管前面に補助反射鏡を設け集光効率を改善する技術である。PTV では、超高圧水銀ランプは点灯に時間がかかる点や寿命が短い点が大きな欠点となる。その対策としてマイクロ波励起の無電極ランプが応用された。また、LED やレーザーも PTV に応用され、瞬時点灯や長寿命に加え、広い色再現範囲を大きな特長としている。LED の高輝度化技術には Chip 表面にフォトニック結晶を設け外部量子効率を向上させた技術や冷却効果の高い薄型結晶基板技術、フリップチップ実装技術等がある。

LV には、透過型の高温ポリシリコン TFT 液晶（HTPS：High Temperature Poly-Silicon）、シリコン基板をベースとした反射型液晶の LCOS（Liquid Crystal On Silicon）、MEMS の DLP（Digital Light Processing: Texas Instrument 社）の 3 種類がある。LV は光学系全体の低コスト化、小型化のために LV サイズを縮小することが重要であり、現状の最小画素サイズは 7～8μm である。また、動画像の応答性を改善させるために、フレーム周波数を 2 倍にした倍速駆動技術が使われている。HTPS の光学系は、3LCD 方式と呼ばれる透過型の 3 板式光学系である。ランプの光をフィルターで RGB 三原色に色分離し、RGB3 枚の LV で別々に変調した後、プリズムで色合成し投射レンズで拡大投影する。3LCD 方式は光ロスが少ないため、小型で高輝度なプロジェクタが可能であり、市場実績が最も多い。LCOS の光学系も 3LCD と同様に 3 板式であるが、反射型であるため、LV への入射光と反射光が同じ経路をたどる。LV で変調された光は偏光軸によりオンオフが制御される。

一部には単板方式もある。LCOS は画素電極の裏面にトランジスタが形成できるため、開口率が高く高精細化に優れる。DLP の光学系は単板カラーシーケンシャル方式で、小型でシンプルな構造が特徴である。回転カラーフィルターで色分離する際、色の変化が感知されて虹状に見えてしまう色割れ現象を防ぐため、１フレームを 120Hz～180Hz で高速回転している。3 板方式もあるが大型機に限られている。

プロジェクションディスプレイはLV だけでなく、光学エンジン技術を駆使して高画質化できる。ホーム用の高画質化の例として、輝度ダイナミックレンジコントロール技術（シーン適応型）がある。これは、照明光路上に絞り機構を配し、映像シーン毎にランプの照明光量を調節することで、動的にコントラストを拡大する技術である。

（２）今後の見通しと課題

プロジェクションディスプレイは、他の表示デバイスに比べ、大画面が最大の特長である。大画面のためには高輝度が求められ、ビジネス・教育・サイネージ用は長期的に 20,000lm に達するであろう。また、高精細化が進み、CAD やサイネージ、更にはデジタルシネマ（4k×2k）、スーパーハイビジョン（8k×4k）へと進展すると考えられる。

ホーム用では、長期的に高コントラスト化（100 万:1）、高精細化（8k×4k）、動画応答性等の画質性能が進展し、MPRT（Motion Picture Response Time：動画応答時間）が 8ms に達すると考えられる。3D 対応は高精細化と技術が共通し、3D コンテンツや通信インフラの進展と併せて急速に市場が広がると考えられる。広色域化も進み、xvYCC（Extended-gamut YCC colour space for video applications：拡張色空間の規格）対応の製品が増えると思われる。

上記高精細化ニーズに応えるために、LV の微細プロセス技術が必須となる。今後、画素ピッチは 5μm 程度となろう。これ以上の微細化は光の回折現象が影響し、拡大光学系では困難となる。対策の一つとして複数のデバイスを使って大画面を構成するマルチプロジェクションディスプレイは効果的である。動画応答性は、LV の駆動技術が大きく寄与する。ホールド表示の欠点である動画ボヤケを対策するために、黒挿入技術や倍速駆動技術が使われる。

将来の光源としてレーザーダイオードの高出力化技術が期待される。プロジェクションディスプレイの高輝度化や広色域化に大きなポテンシャルを有している。フロントプロジェクターの輝度を満たすには 5～10W の光出力が必要となる。また、大きな課題としてレーザー光の干渉によって生じる縞状のスペックルノイズを低減する技術が必須となる。現状回転拡散板等の様々な手法が提案されているが、まだ完全な物は無く時間を要すると考える。

光学エンジン技術で更に高コントラスト化する方法として、輝度変調用にもう 1 枚 LV を加え、100 万対 1 以上の超高コントラストを実現する技術が開発されており、将来商品化されると考えられる。プロジェクションディスプレイの使い勝手を良くするために、投射距離を最大限短縮した短焦点プロジェクタが商品化されており、今後も増加する傾向にある。投射系の光軸ずらしやミラー採用により、現状 60cm 程度の短い投射距離で最大 80 インチのスクリーンサイズを可能に

している。今後更に投射距離の短縮が進むと考えられる。

（3）キーテクノロジー

ライトバルブは、プロジェクションディスプレイの性能を決定付けるキーテクノロジーである。今日の主流である HTPS、LCOS、DLP の基本デバイス構造は既に確立されているが、微細化や高画質化が年々進んでいる。HTPS は VA（Vertical Alignment：垂直配向）モード液晶の採用と配向膜の無機化により、滑らかで高コントラストな画質を実現すると共に信頼性も向上させている。LCOS は、既に 8K×4k の高精細 LV が開発されており、今後、商用としての低コスト化が期待される。光学系においては、偏光分離用光学素子として従来の偏光ビームスプリッター(PBS:Polarization Beam Splitter）に代えてワイヤグリッド（WG：Wire Grid）を採用し、入射光の角度依存性が改善され高いコントラストを実現している。DLP は画素構造の簡素化、微細化と共に、黒が沈むように迷光を抑え、高コントラストな画質を実現している。LED 光源によるマルチカラーや駆動シーケンス制御による色再現性の向上も期待される。

ユーザビリティ　図表インデックス

図 5-1　ユーザビリティ分野における技術要素 3
図 5-2　Web ページの端末適応技術の例 16
図 5-3　擬人化エージェントの機能構成 17
図 5-4　ＧＵＩ技術の変遷 24
図 5-5　インタラクション技術の進展 27
図 5-6　情報検索の高度化 55
図 5-7　ディスプレイ技術別の市場規模 75
図 5-8　用途別市場規模 76
図 5-9　中小型 TFT-FPD 出荷数量予測 78
図 5-10　フラットパネル型の立体ディスプレイの構成方法 83
図 5-11　ステップバリア方式と斜めレンチキュラ方式（視点数４の例） 84
図 5-12　粉流体ディスプレイ原理 88
図 5-13　マイクロカプセル型電気泳動ディスプレイ原理 88
図 5-14　コレステリック液晶ディスプレイ原理 88
図 5-15　エレクトロデポジションを用いたディスプレイ 89
図 5-16　PDP の基本的なセル構造　　図 5-17　最新の PDP のセル構造の例 95
図 5-18　課題とキーテクノロジー 98
図 5-19　CRT、FED の構造 102
図 5-20　大画面２眼式立体表示方式 107
図 5-21　プロジェクタアレイを用いた立体表示装置 107